

작전임무그룹 지원을 위한 Zone 기반 무선 Link-K 네트워크 구조 및 라우팅

전민환*, 백호기°, 지승배*, 김상준*, 임재성**

Zone-Based Wireless Link-K Network Structure and Routing for Supporting Mission Group

Minhwan Cheon*, Hoki Baek°, Seungbae Jee*, Sangjun Kim*, Jaesung Lim**

요약

한국군은 현재 한국형 전술데이터링크(Link-K)를 2단계(기본형과 완성형)에 걸쳐 개발하고 있다. 현재 Link-K 기본형에서는 모든 RICC들이 단순하게 같은 정보를 브로드캐스팅하기 때문에 불필요한 정보 공유와 비효율적인 라우팅과 같이 작전임무그룹을 지원하는데 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 작전임무그룹을 지원하기 위한 Zone 기반의 무선 Link-K 네트워크 구조와 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안하는 라우팅 알고리즘의 효과를 증대시키기 위한 방안으로, 우선순위에 따라 메시지의 데이터를 조절하는 필터링 기법과 네트워크의 부하를 조절하는 기법을 연구하였다. 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위하여, 작전 시나리오상황에 맞추어 기존 무선 Link-K 라우팅 알고리즘과 비교하여 작전임무그룹을 지원하는데 효과적임을 입증하였다.

Key Words : Link-K, Routing, Network Structure, Tactical Data Link, Mission Group

ABSTRACT

To this end, the ROK military is developing a Korean Tactical Data Link (Link-K) in two stages: Basic and Completion types. Currently, the basic type of the Link-K has a limitations for supporting Mission Group(MG)s, such as to share unnecessary information and inefficient routing, because all RICC's simply broadcasts the same information in the basic type of the Link-K. In this paper, we propose a Zone-based Wireless Link-K network structure and a routing algorithm. To improve the effectiveness of the proposed routing algorithm, we have studied a filtering method that adjusts the message data according to the priority of the message and a method of controlling the load of the network. In order to evaluate the performance of the proposed scheme, it is proved that it is effective to support the mission task group compared with the existing wireless Link-K routing algorithm according to the operational scenario situation.

I. 서론

현대의 전쟁 수행 개념은 센서 체계, 지휘통제 체

계, 타격 체계 등 전장 환경의 모든 요소들이 연계된 NCW(network centric warfare)^[1] 체계로 변화하고 있다. NCW의 전장 환경에서 전쟁에 승리하기 위해서는

* 본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음 (계약번호 : UD150010ED)

• First Author : Ajou University Graduate School of Software, jmhdang@ajou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, nelouyou@ajou.ac.kr, 정회원

* Agency for Defense Development, seungbae@add.re.kr, sangjun@add.re.kr

** Ajou University Department of Software, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-12-388, Received December 15, 2016; Received January 5, 2017; Received January 13, 2017

ISR(intelligence, surveillance and reconnaissance), C2(command and control), PGM (precision guided munitions)을 수행하는 플랫폼들 간의 정보 공유 능력이 상대방보다 우위에 있어야 한다. 이러한 정보 공유는 전술데이터링크를 통하여 실현이 된다^[2]. 전술데이터링크는 전술을 운용하는데 필요한 데이터와 전술 네트워크를 운용하는데 필요한 데이터 등을 주고받는 전술 정보 교환의 통신 매체 역할을 하며, 이를 통해 아군들은 상황 인식(situational awareness)을 공유하여 임무의 효율성을 증대시킬 수 있다^[3].

상황 인식이란 주변 상황에 대한 파악을 말하는 것으로, 주변 노드들의 위치, 속력, 방위 및 적아 식별 정보 등의 다양한 정보로 이루어져 있다. 이러한 상황 인식 정보는 스스로 획득할 수 있는 정보와 다른 기기로부터 얻은 정보로 파악을 할 수 있다. 내부 센서로부터 스스로 획득할 수 있는 정보는 한정적이기 때문에 주변의 다른 전투기, 센서 등에서 얻은 정보를 데이터링크를 통하여 전달받고 교환함으로써 정보를 획득하고 공유하는 것이 필요하다. Link-16의 경우 PPLI (precise participant location and identification) 메시지^[4-6]와 ADS-B 메시지^[7]를 통해 상황 인식 정보를 공유한다. 시간에 따라 계속 변하는 전장 상황에서는 정확한 정보의 빈번한 상황 인식 정보 업데이트가 필요하다. 특히, 상황 인식은 지휘 통제의 결정권자의 결정의 근거가 되므로, 신뢰성 있고 주기적인 전달이 보장되어야 한다^[8].

한국형 전술데이터링크인 Link-K는 개발 사업을 2 단계로 나누어 진행하였다. 1단계는 기본형으로 2008년부터 2011년까지 진행되었으며, 현재 운용되고 있는 무선통신장비를 이용해 Link-K 전술메시지를 전송할 수 있는 모델과 같은 장비를 개발하는 단계이다. 2 단계는 완성형으로 통신장비와 Link-K 전술메시지 디지털 처리장비가 결합된 일체형 장비를 개발하는 단계이며 2011년부터 Link-K 완성형을 위한 기술 연구가 진행되고 있다^[9].

전술데이터링크는 다수의 작전임무그룹들이 각자 담당하고 있는 작전을 동시에 수행할 수 있도록 한다. 전술데이터링크 네트워크는 이를 지원하기 위해서 작전임무그룹 별로 필요한 상황 인식 정보를 공유할 수 있도록 해야 한다. Link-K 기본형 네트워크에서는 모든 원격통신소(RICC: regional interface control cell)들이 단순하게 같은 정보를 브로드캐스팅하기 때문에 불필요한 다른 작전임무그룹의 정보를 공유하게 되는 문제가 발생하여 자원의 낭비를 초래하고, 심지어 정작 작전임무그룹에 필요한 상황 인식 정보는 수신하

지 못하는 문제까지 발생할 수 있다. 이에 Link-K 완성형에서는 작전임무그룹을 지원할 수 있는 네트워크 구조와 라우팅 기술이 필요하여 연구가 많이 진행되고 있는 상황이다. 현재 미국에서 운용하고 있는 전술데이터링크인 Link-16과 Link-22의 경우 NPG(Network Participation Group)^[10]와 MASN (Mission Area Sub-Network)^[11]을 통하여 작전임무그룹을 지원하는 능력을 보유하고 있다. 우리나라도 이와 같이 Link-K 완성형에서 작전임무그룹 간의 상황 인식 정보 공유를 지원할 수 있는 기술이 필요하며, 이를 지원하는 네트워크 관리 방안의 연구가 수행되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 Link-K에서 운용 가능한 작전임무그룹간의 정보 공유를 위한 Zone 기반의 네트워크 구조와 제안된 구조에 적용 가능한 라우팅 기법을 제안하였다. 또한, 제안하는 라우팅 알고리즘의 효과를 증대시키기 위한 방안으로, 메시지를 우선순위에 따라 메시지의 데이터를 조절하는 필터링 기법과 네트워크의 부하를 조절하는 기법에 대하여 연구하였다. 제안하는 기법의 효과성을 검증하기 위하여 실제 작전환경에서의 성능을 평가하였다. 작전 시나리오를 수립하고 시나리오 상황에 맞추어 필터링 기법과 네트워크의 부하 조절 기법의 성능을 평가하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로써 Link-K와 현재 지원하는 노드 관리 기법에 대해 알아보고, 3장에서는 Zone 기반의 네트워크 구조와 라우팅 기법들을 제안하고, 4장에서는 제안하는 기법과 기존의 기법과의 비교를 통하여 특징 및 장점을 살펴보고, 5장에서는 본 연구의 결론을 기술하며 끝맺는다.

II. 관련 연구

한국형 전술데이터링크인 Link-K 기본형은 기존의 음성 무전기 네트워크를 이용하여 전술데이터를 교환할 수 있는 데이터링크이다. Link-K 기본형은 한국군 전장 환경 및 무기체계에 적합하도록 센서, 지휘통제 및 타격 체계간 전술정보를 실시간으로 공유하여 합동 및 연합작전을 수행하는 것을 목표로 개발되었다.

Link-K 기본형은 한국형 합동 전술데이터링크 체계를 지원하기 위해서, 합동연동통제소(KICC: korea interface control cell)와 원격통신소, 군단, 전술항공통제반(TACP: tactical air control party), KA-1 및 AH-1S, 그리고 해군 함정 KDX(korea destroyer experiment), FFX(future frigate experimental) 등

지·해·공의 다양한 플랫폼에 탑재되어 합동 전술정보를 기반으로 운용된다¹⁾. 그리고 KICC와 미연동 통제소(JICC: joint interface control cell)의 연결을 통해 한/미 전력간 연합 전술데이터링크에도 연동 되어 운용한다.

KICC는 노드가 수집한 정보, 다른 해군, 지상군 등의 네트워크로부터 획득된 정보와 전술네트워크에서 발생하는 모든 정보를 수집 및 관리 한다. 현재 전장과 전장에 운용 되고 있는 트랙들의 정보를 알 수 있는 상황인식 정보의 경우, 네트워크의 노드가 획득한 정보는 KICC로 수집된 후, KICC가 모든 RICC와 노드들에게 브로드캐스팅 하여 전송한다. RICC는 원격 통신소로 KICC와 노드들간의 메시지를 전달해주는 역할을 수행한다.

Link-K 기본형에서 운용되는 3개의 RICC는 모두 다른 주파수를 사용하며, 각각의 RICC가 커버할 수 있는 영역, 통신 반경이 한정 되어있다. 그렇기 때문에 Link-K 기본형에서 운용되는 모든 노드들은 자신을 담당하는 RICC와의 통신만 가능하며, 같은 주파수를 사용하더라도 통신 반경에서 벗어난다면 통신이 불가능하게 된다. 즉, 같은 통신 반경에 속하더라도 사용하는 주파수가 다르다면 통신이 불가능하다는 말과 같다. 그렇기 때문에 메시지 전송시 목적지 노드가 속해있는 RICC를 선택하는 절차가 발생한다.

RICC를 선택하는 절차를 수행할 때, Link-K 기본형에서는 모든 RICC에게 브로드 캐스팅하는 방식을 사용한다. 그래서 다음 그림 2와 같은 경우, MG3에게 전달할 메시지가 발생하면 RICC 3에게만 메시지를 전달하는 방식이 아닌 전체 RICC에 브로드 캐스팅하여, 모든 RICC 역시 메시지를 브로드캐스팅하는 네트워크의 자원을 낭비하는 방식으로 운용이 된다.

이러한 비효율적인 네트워크 사용을 개선하기 위해서, KICC에서 노드들을 담당하는 RICC를 하나씩 선

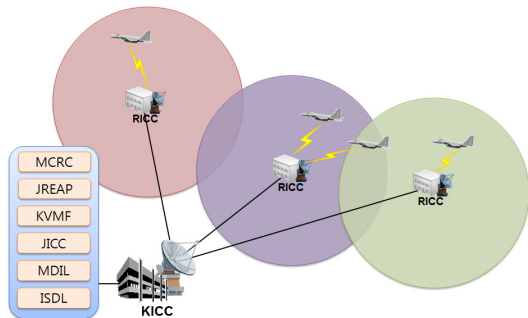


그림 1. Link-K 기본형 개념도
Fig. 1. The concept of Link-K basic type

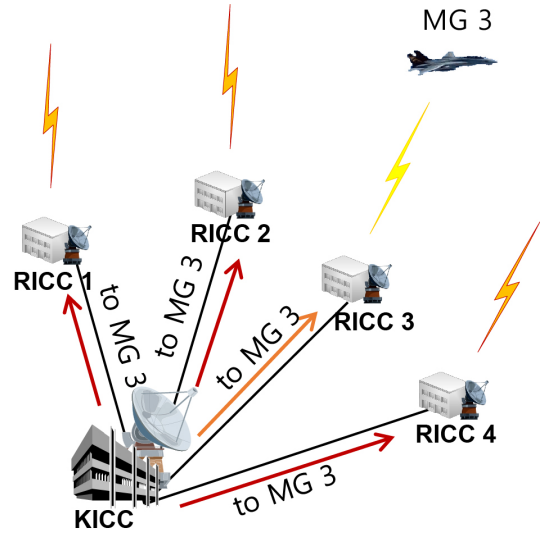


그림 2. 노드 담당 RICC가 없을 때의 라우팅 모습
Fig. 2. Routing when RICC is not responsible for a node

정하여 관리하는 방식을 비교해보았다. 전달해야 할 메시지가 발생하면 해당 노드를 담당하는 RICC에만 메시지를 전달하여, 그 RICC만 브로드캐스팅으로 해당 노드에 메시지를 전송한다. 위의 그림 2와 같은 경우 MG3에게 전송하기 위해서 RICC 3에게만 메시지를 전송, RICC 3이 브로드캐스팅을 통하여 MG3에게 메시지를 전송하게 된다.

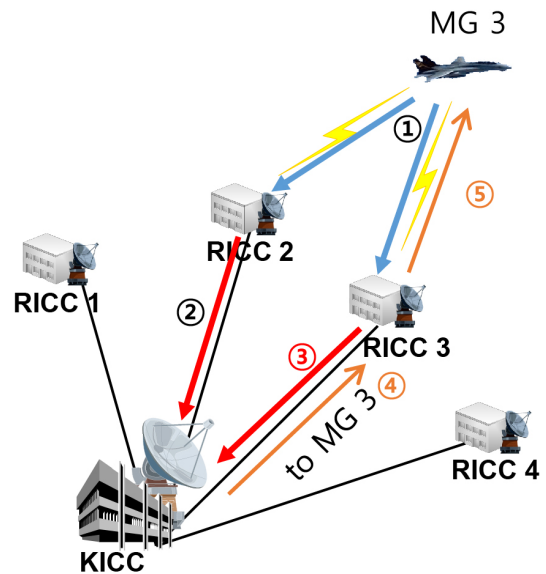


그림 3. 노드 담당 RICC가 하나일 경우의 라우팅 모습
Fig. 3. Routing when one RICC is responsible for a node

이러한 노드 담당 RICC를 사용하기 위해서는 노드 담당 RICC를 선정하는 절차가 필요하다. 노드 담당 RICC를 선정하는 절차는 그림 3과 같이 수행될 수 있다. 자신의 정보를 알려주기 위해 MG 3은 주기적으로 PPLI를 전송한다. 이 PPLI 메시지는 RICC를 거쳐 KICC로 전달이 된다. 전달과정에서 사용되는 RICC를 KICC는 MG 3의 담당 RICC로 판단할 수 있다. 그림 3의 경우 MG 3의 담당 RICC가 될 수 있는 RICC는 2와 3으로 두 RICC 중 하나의 RICC를 선택해야한다. 이 경우 KICC는 해당 메시지를 전송받아 KICC의 데이터를 업데이트하기 때문에 먼저 도착한 메시지로 RICC 2가 담당 RICC가 되지만, 나중에 도착한 RICC 3에 의해서 삭제되고 담당 RICC는 RICC 3으로 업데이트가 된다.

III. 본 론

본 연구는 Link-K 완성형에 적용하기 위한 네트워크 구조 및 관리방안을 제안한다. 그렇기 때문에 Link-K 완성형에 맞는 환경을 위해 1채널로 구성된 TDMA(time division multiple access)로 동작하며, PPLI를 통하여 노드의 정보가 근실시간적으로 업데이트되며, 각 RICC는 데이터 통신을 위한 타임 슬롯을 가지고 있다고 가정한다.

3.1 제안하는 네트워크 구조

작전임무그룹을 지원하기 위하여 우리는 통신 가능한 RICC를 기준으로 Zone을 구성하여 Zone으로 구분되는 Zone기반 네트워크를 제안한다. 그림 4는 작전임무그룹을 지원하기 위한 Zone 기반의 네트워크 구조이다. 현재의 Link-K 기본형과 같이 하나의 KICC와 여러 개(4개)의 RICC, 각각의 RICC와 통신이 가능한 노드들로 구성이 된다. 각 노드들이 어느 RICC와 통신이 가능한지 파악을 할 수 있어야 Zone 기반의 네트워크를 구성할 수 있다. 이러한 노드의 위치와 같은 정보는 Link-K 기본형에서도 PPLI를 통하여 근실시간적으로 업데이트되고 있기 때문에, 추가적인 오버헤드가 발생하지 않는다.

3.1.1 Zone

Zone 기반의 네트워크 구조도에서 볼 수 있듯이 Zone은 통신 가능한 RICC의 수와 포함이 되는 RICC의 ID에 따라 나누어진다. Zone은 통신이 가능한 RICC에 따라 구성이 되기 때문에 노드와 직접 통신이 가능한 RICC의 개수가 몇 개인지에 따라서 중첩

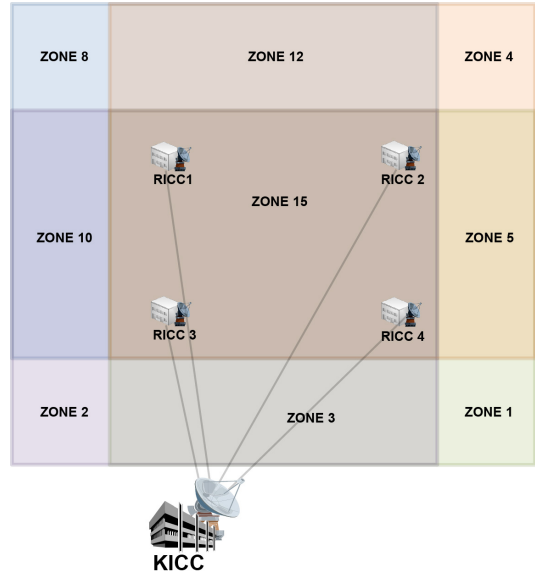


그림 4. KICC와 RICC로 구성되는 Zone기반 네트워크의 모습
Fig. 4. A zone-based network consisting of KICC and RICCs

이 가능한 Zone과 중첩이 불가능한 Zone으로 구분된다.

구성되는 Zone의 최대 개수는 RICC의 수를 N으로 정의할 경우, 다음과 같은 수식(1)로 표현이 가능하다. 하지만 수식으로 계산한 수는 최대 개수이며, 통신 환경 및 물리적인 거리에 따라 구성 가능한 Zone의 개수는 제한이 된다. 그림 4는 KICC하나와 RICC 4개로 구성되는 Zone 기반 네트워크의 모습이다. 현재 존재하는 RICC의 수가 4개 인 경우, 최대로 구성 가능한 Zone의 최대 개수는 15개로 정의가 될 수 있지만 물리적, 환경적으로 RICC의 중첩이 발생하지 않아 생성하지 못하는 Zone이 존재하여 9개의 Zone으로 구성이 된다. 수식은 생성이 가능한 최대의 Zone을 계산하는데 사용되며, 최대의 Zone을 가지기 위해서는 RICC가 3개일 경우만이 가능하며, 다른 경우엔 $2^N - 1$ 이내의 개수만이 존재 할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N {}^N C_i = 2^N - 1 \quad (1)$$

Zone에 할당되어 있는 Zone ID는 RICC의 조합을 비트로 계산하여 부여한 값이다. 예를 들어 Zone 15의 경우 직접적으로 통신이 가능한 RICC는 RICC 1, 2, 3, 4로 모든 RICC가 가능하다. RICC를 기준으로

비트를 부여하여 { 1 1 1 1 }의 조합으로 15의 값을 구하여, Zone 15로 ID가 할당이 된다. Zone 10의 경우는, 가능한 RICC의 조합이 RICC 1과 3으로 { 1 0 1 0 }으로 10의 ID 값을 가진다.

3.1.2 Zone Database(DB)

각각의 RICC는 자신과 연결되어있는 노드들을 Zone을 기반으로 관리한다. 각 노드들의 정보는 KICC의 라우팅 테이블에서 관리가 되며, PPLI 메시지를 통하여 RICC에 전송된 노드의 정보가 KICC로 업데이트 된다.

(1) Zone table 생성

처음 데이터베이스가 생성되는 방식은 네트워크에서 노드가 항상 전송하는 PPLI 메시지를 이용한다. 노드가 자신의 위치정보를 보고하고 공유하기 위해서 사용되는 PPLI는 주기적으로 전송을 해야 하기 때문에, 이러한 PPLI 메시지의 정보를 이용하여 데이터베이스를 생성한다. 노드로부터 전송된 PPLI를 수신한 RICC는 노드의 정보를 KICC로 전달을 해주며, KICC에서는 RICC로부터 전달받은 PPLI를 통해 어느 RICC와 노드가 통신이 가능한지 파악을 할 수 있다. KICC는 이 정보를 이용하여 Zone 데이터베이스를 구축한다.

그림 5의 Zone 기반 네트워크에 분포되어있는 노드들을 데이터베이스에 저장하게 된다면 표 2와 같은

Zone table을 구성하게 된다. 모든 노드는 PPLI 전송을 통하여 주기적으로 자신의 정보를 KICC에게 전달한다. 라우팅 알고리즘에 의해서 먼저 노드에서 생성된 PPLI 메시지는 노드와 LOS가 보장되는 RICC로 전달이 되며, RICC는 해당 메시지를 KICC로 전달하고 KICC는 수신한 메시지를 통해서 노드가 속한 Zone을 파악할 수 있으며, Zone table을 구성 할 수 있다.

그림 5과 같은 경우 KICC가 수신하는 메시지는 표 1과 같다. KICC는 수신한 메시지를 통하여, RICC의 중첩으로 Zone을 판단하며 표 2와 같은 Zone table을 구성할 수 있게 된다.

(2) Zone table 업데이트 및 삭제

무선 Link-K 네트워크에서 노드가 이동하거나 네트워크에서 탈퇴를 하는 경우는 빈번하게 발생을 한다. 이러한 노드의 정보 변경을 반영하기 위하여 Zone table을 업데이트하고 삭제하는 절차가 필요하다.

표 1. KICC가 수신한 메시지
Table 1. KICC reception message

RICC	Message
1	Node 1, Node 2, Node 3, Node 5, Node 6
2	Node 2, Node 3, Node 4, Node 6, Node 7
3	Node 5, Node 6, Node 8, Node 9
4	Node 6, Node 7, Node 9

표 2. Zone table
Table 2. Zone table

ZONE	RICC	NODE
1	0 0 0 1	-
2	0 0 1 0	8
3	0 0 1 1	9
4	0 1 0 0	4
5	0 1 0 1	7
6	0 1 1 0	-
7	0 1 1 1	-
8	1 0 0 0	1
9	1 0 0 1	-
10	1 0 1 0	5
11	1 0 1 1	-
12	1 1 0 0	2, 3
13	1 1 0 1	-
14	1 1 1 0	-
15	1 1 1 1	6

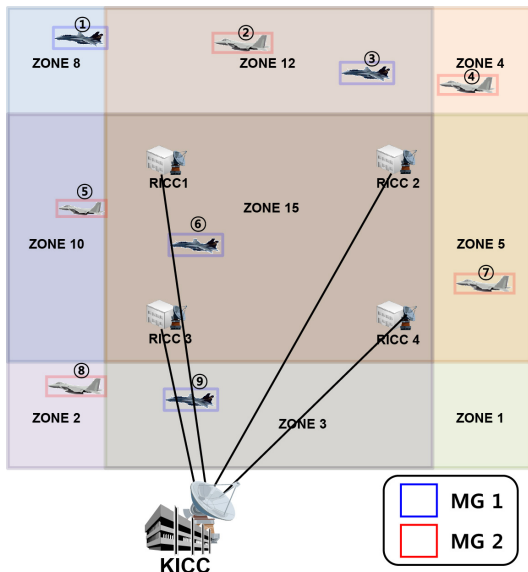


그림 5. 노드가 분포된 Zone 기반 네트워크
Fig. 5. Zone-based network with distributed nodes

그림 6은 그림 5의 네트워크에서 노드 7이 Zone을 Zone 9에서 Zone 4로 이동하고, 노드 8이 네트워크에서 탈퇴하여 변화가 생긴 모습이다. 이 경우에도 노드는 주기적으로 자신의 정보를 PPLI를 통해서 KICC에 알려주게 된다. Zone table 생성과 마찬가지로 KICC는 표 3과 같은 메시지를 수신한다.

KICC가 수신한 메시지를 보면, 노드 7은 RICC 4에서만 수신이 가능하므로 Zone 4로 변화한 것을 알 수 있다. 노드 8은 KICC에서 메시지를 수신하지 못하였으므로 탈퇴한 것으로 간주하여 삭제한다. 실제 운용 시에는 통신 환경으로 인하여 수신 못하는 경우도 많기 때문에, 탈퇴의 경우 연속해서 K번 수신 불가시 탈퇴로 판단하여 삭제할 수 있다. 표 4는 그림 6의 노드 분포를 나타내는 업데이트 된 Zone table이다.

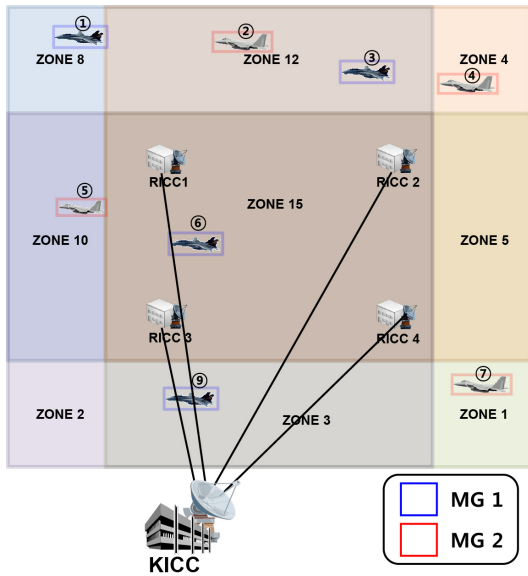


그림 6. 노드의 분포가 변화한 Zone 기반 네트워크
Fig. 6. Zone-based network where the distribution of nodes has changed

표 3. 노드의 이동으로 인한 KICC 수신 메시지의 변화
Table 3. Change of KICC reception message due to node position change

RICC	Message
1	Node 1, Node 2, Node 3, Node 5, Node 6
2	Node 2, Node 3, Node 4, Node 6, Node 7
3	Node 5, Node 6, Node 8 , Node 9
4	Node 6, Node 7, Node 9

표 4. KICC 수신 메시지로 인해 업데이트된 Zone table
Table 4. Updated Zone table due to KICC reception message

ZONE	RICC	NODE
1	0 0 0 1	7
2	0 0 1 0	8
3	0 0 1 1	9
4	0 1 0 0	4
5	0 1 0 1	7
6	0 1 1 0	-
7	0 1 1 1	-
8	1 0 0 0	1
9	1 0 0 1	-
10	1 0 1 0	5
11	1 0 1 1	-
12	1 1 0 0	2, 3
13	1 1 0 1	-
14	1 1 1 0	-
15	1 1 1 1	6

3.1.3 Availability table

네트워크에서 발생한 메시지를 각 노드에게 전달하기 위해서는, 각 노드가 포함되어 있는 Zone을 커버할 수 있는 RICC에게 메시지를 전달하여 RICC가 브로드 캐스팅하는 방식을 취해야한다. 이러한 Zone을 커버하는 RICC는 하나 또는 여러 개의 RICC 조합으로 구성이 될 수 있다. RICC의 조합을 추출하기 위해서 우리는 Availability table을 통하여 커버의 가능성을 판단하였다. Availability table은 다음 표 5와 같이 구성이 된다.

Availability table은 RICC 조합과 Availability 두 가지 요소로 구성이 된다. 각 각의 RICC 조합에 따라 해당 작전임무그룹을 커버할 수 있는 가능성에 따라 Availability가 저장이 된다. RICC 조합은 각 자리가 RICC의 포함 여부를 나타낸 비트이며, Availability는 커버 가능 여부를 0과 1 비트의 조합으로 표현한 것이다. RICC 조합의 0은 포함이 되지 않은 경우이며, 1인 경우는 포함이 되는 경우이다. Availability는 0인 경우 커버할 수 없고, 1인 경우는 커버할 수 있음을 나타낸다. 표 5의 RICC 조합 {1 0 1 0}의 경우 1번과 3번 RICC가 포함되는 조합을 나타내며, 이 경우 RICC 1번과 3번을 통하여 해당 노드들을 커버 가능하므로 Availability는 1로 정의가 된다. 만약 {1 0 0 0}의 경우, RICC 1번만으로는 노드 9를 커버하지 못

표 5. MG 1에 대한 Availability table
Table 5. Availability table for MG 1

RICC	Availability	RICC	Availability
0 0 0 1	0	1 0 0 1	1
0 0 1 0	0	1 0 1 0	1
0 0 1 1	0	1 0 1 1	1
0 1 0 0	0	1 1 0 0	0
0 1 0 1	0	1 1 0 1	1
0 1 1 0	0	1 1 1 0	1
0 1 1 1	0	1 1 1 1	1
1 0 0 0	0		

하므로 Availability는 0으로 정의가 된다.

3.2 Zone 기반 네트워크에서의 라우팅

3.2.1 Zone 기반 네트워크 라우팅 절차

작전임무기반 네트워크에서 발생한 메시지는 다음 그림 7과 같은 절차로 라우팅 된다. 노드에서 RICC로, RICC에서 KICC로 전달이 되며, KICC는 메시지를 수신하게 되면 ZoneDB를 업데이트하는 동작을 먼저 수행하게 된다. KICC는 ZoneDB를 업데이트 후 발생한 메시지의 목적지 임무그룹을 파악하고, 해당 임무그룹으로 메시지 전송이 가능한 RICC를 선정한다. RICC 선정을 위해서는 ZoneDB의 RICC table, Availability table 등을 이용한다. ZoneDB를 통해서 가능한 RICC의 조합을 찾고, 파악된 RICC의 조합이

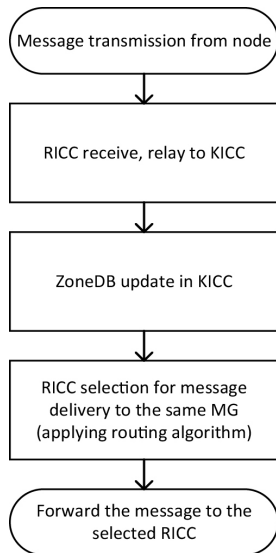


그림 7. Zone 기반 네트워크의 라우팅 절차
Fig. 7. Routing procedures for Zone-based network

하나가 아닌 여러 개가 가능하다면 그 중 하나의 RICC 조합을 선택하여 메시지를 전송한다.

예를 들어 위의 그림 6과 같은 네트워크 환경에서 작전임무그룹 A에게 전송해야할 메시지가 발생한 경우, 먼저 MG 1에 속하는 노드를 파악하고, MG 1을 커버할 수 있는 RICC 조합을 표 5인 Availability table을 통해서 찾는다. RICC 조합 중 네트워크의 부하 또는 우선순위의 조건을 바탕으로 최적의 RICC 조합을 선택하여 메시지 라우팅을 수행한다.

다음으로 라우팅의 효과를 증대시키기 위한 방안으로, 메시지 필터링과 부하 조절 기법을 제안한다.

3.2.2 메시지 필터링

Link-K 완성형에서 모든 전송데이터는 KICC에 수집이 된다. KICC에는 세 개의 RICC와 모든 참여 플랫폼에서 수집된 정보뿐만 아니라 다른 네트워크(해군의 KNTDS, 지상군의 KVMEF, 미군의 JICC 등)로부터 획득된 모든 전송데이터가 수집이 되기 때문에 데이터를 처리하기 위한 많은 자원이 필요하다. 특히 작전임무를 수행하는데 큰 역할을 하는 트랙 정보의 경우, KICC가 관리하는 트랙의 수는 각 플랫폼이 처리할 수 있는 트랙의 수보다 훨씬 많으며, 참여 플랫폼 간에도 처리할 수 있는 트랙의 수는 상이하다. 그렇기 때문에 각 플랫폼이 필요로 하는 트랙의 정보를 구분하여 처리 가능한 양만을 전달하는 기술이 필요하다.

트랙 정보를 비롯한 메시지 데이터의 양을 조절하기 위해서, 우리는 메시지를 구분하여, 메시지의 종류 및 내용에 따라 중요성을 판단하여 데이터의 양을 조절하였다. 네트워크에서 전달되는 메시지의 종류는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 메시지의 내용에 따른 구분으로 작전 수행을 위한 전술 메시지와 일반 메시지로 구분할 수 있으며, 메시지의 크기에 따라 즉시 주고받을 수 있는 적은 용량의 데이터와 트랙정보와 같은 큰 용량의 데이터 메시지로 구분을 할 수 있다.

임무를 수행하는 전투기의 경우 처리할 수 있는 트랙의 수는 제한 되어있다. 그렇기 때문에 직접적으로 임무를 수행하는 전투기는 KICC에서 관리하는 모든 트랙의 정보를 처리 할 수가 없으며, 트랙 정보와 같은 큰 용량의 데이터 메시지 라우팅을 위해서는 노드가 처리할 수 있는 양으로 조절하는 필터링 기술이 필요하다. 또한, 작전임무의 내용에 따라 작전임무그룹의 전투기들이 필요한 정보는 다르다. 그렇기 때문에 각각의 전투기들은 자신이 필요로 하는 정보만을 수신 및 처리하여 작전임무를 수행하여야 한다.

메시지의 데이터가 많을 경우, 전투기가 메시지를 수신시 overflow가 발생하게 되며 어떠한 데이터가 누락되었는지 판단을 할 수가 없다. 그렇기 때문에, 우리는 각각의 전투기들이 자신이 필요로 하는 정보를 수신할 수 있도록, 메시지를 필터링하는 기능을 KICC와 RICC에서 제공하도록 하였다.

RICC에서는 직접적으로 각각의 노드들로 정보가 담겨있는 메시지를 전송한다. 따라서 RICC는 노드들이 처리 할 수 있는 양의 정보를 담은 메시지를 생성하는 역할을 수행하여, 생성된 메시지를 전송한다. RICC는 이러한 메시지를 생성할 때, 노드가 작전임무를 수행하는데 필요한 정보를 선정하여 임무수행에 지장을 주어서는 안 된다. 그렇기 때문에, 우선순위에 따라 메시지를 구분하며, 트랙의 정보에 대해서도 우선순위를 적용하여 트랙을 선별한다. 일반 트랙 정보보다 전술 트랙 정보, 처리량을 초과하는 전술 트랙 정보가 발생할 경우 일반 트랙 정보의 양을 줄인 후 전술 트랙 정보를 먼저 전송하는 방식이 있을 수 있다.

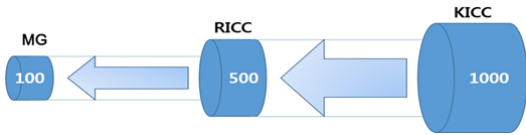


그림 8. 플랫폼에 따른 메시지 처리량 변화
Fig. 8. Message throughput changes by platforms

3.2.3 네트워크 부하 조절

작전임무기반의 네트워크의 데이터는 작전과 임무수행을 위한 저용량의 작전메시지만만 아니라 목표 확인과 타격 결과보고 그리고 정찰을 위한 이미지와 영상과 같은 대용량의 데이터도 존재 한다. 따라서 작전임무의 형태와 규모에 따라 네트워크의 부하도 증가할 것이다. 정보 전달의 신속성은 NCW 기반의 전장 환경에서 승패를 결정할 중요한 요소이기 때문에 전술데이터 링크의 부하 조절은 필수적이다.

일부 경로의 부하가 증가하게 되면 해당 경로를 이용하는 모든 노드의 전송 능력이 감소하게 되어 정보 전달의 어려움이 발생한다. 자원을 효율적으로 사용하며, 네트워크의 부하를 조절하기 위해서, 새로 가입하는 노드가 RICC를 선택하는 기준에 경로 부하 정도를 추가한다. 각 RICC들이 가지고 있는 부하의 정도를 비교 하여 부하가 낮은 RICC를 통한 경로를 선택하는 load balancing을 수행한다.

그림 9의 경우 새로 가입하는 노드는 10%의 네트워크 부하를 가지고 있다. 이 노드가 가입하게 될 경

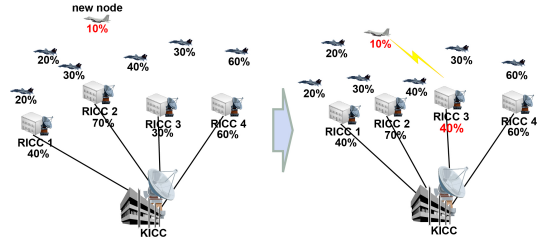


그림 9. 네트워크 부하에 따른 RICC 선정
Fig. 9. RICC selection according to network load

우 노드를 관리하는 RICC는 10%의 부하가 추가적으로 발생하게 된다. 그렇기 때문에 현재 부하가 가장 적은 RICC를 선택하는 것이 네트워크 전체의 부하를 조절하는 방법이 될 수 있다.

표 6의 Load table을 기반으로 커버 가능한 RICC의 조합의 여유 슬롯을 계산한 표 7의 Max load table을 생성할 수 있다. Max load table에서 부하가 가장 작은 RICC의 조합인 {0 0 1 0}을 식별하고 RICC 3을 선택하여 네트워크를 구성한다.

표 6. 부하 table
Table 6. load table

RICC	load
1	40
2	70
3	30
4	60

표 7. 최대 부하 table
Table 7. Max load table

RICC	Max load
1 1 1 1	70
1 0 1 1	60
1 1 0 1	70
1 1 1 0	70
1 0 0 1	60
1 0 1 0	40
0 0 1 0	30

IV. 성능평가

제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 MATLAB을 이용하였으며, 다음 그림 10의 작전 시나리오를 활용하였다. RICC 2개로 구성된 작전 환경이며, RICC 2개로 인하여 그림 10과 같이 Zone은 3개가 생성이 된다. 작전임무그룹은 유도탄작전(MG1), JATT/방공

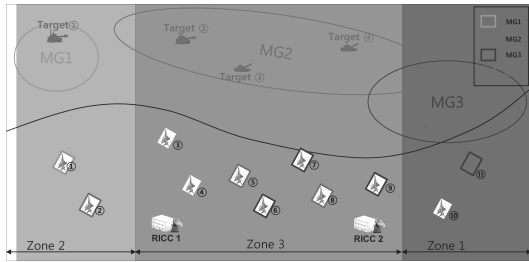


그림 10. 기술 검증을 위한 작전 시나리오
Fig. 10. Operational scenarios for technical verification

작전(MG2), CAS작전(MG3) 3개로 구성이 되며, 각 그룹은 유도탄작전은 3개, JATT/방공작전은 4개, CAS작전 4개의 노드로 작전을 수행한다. 또한 적군 트랙 10개를 그림 10의 빨간 적군 타겟으로 표현하였다.

4.1 메시지 필터링

작전임무를 수행하는데 큰 역할을 하는 트랙 정보의 경우, KICC가 관리하는 트랙의 수는 각 플랫폼이 처리할 수 있는 트랙의 수보다 훨씬 많으며, 참여 플랫폼 간에도 처리할 수 있는 트랙의 수는 상이하다. 그렇기 때문에 각 플랫폼이 필요로 하는 트랙의 정보를 구분하여 처리 가능한 양만을 전달하는 기술이 필요하다.

트랙 정보를 비롯한 메시지 데이터의 양을 조절하기 위해서, 우리는 메시지를 구분하여, 메시지의 종류 및 내용에 따라 중요성을 판단하여 데이터의 양을 조절하였다. 네트워크에서 전달되는 메시지의 종류는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 메시지의 내용에 따른 구분으로 작전 수행을 위한 전술 메시지와 일반 메시지로 구분하여, 일반 메시지보다 전술메시지에 우선순위를 주어 메시지 전송의 성능을 보장하였다.

작전임무별 발생하는 데이터량은 다음 표 8로 정의하였다. 그림 10의 작전 시나리오와 같은 상황에서, 메시지가 MG1이 발생, MG2의 메시지 추가 발생, MG3의 메시지 추가 발생의 순서로 메시지가 추가 발생하면서 메시지의 데이터 우선순위에 따른 비율 변화의 추세를 보였다. 또한 메시지 전송을 위한 라우팅 알고리즘은 기존에 제안한 Zone 기반의 라우팅 알고

표 8. 작전임무그룹 별 발생하는 데이터양
Table 8. Amount of generated data by mission group

MG	Tactical data	Normal data
MG1	13	30
MG2	34	40
MG3	14	40

리즘을 이용하였다. 그림 10의 작전 시나리오의 경우, 라우팅 알고리즘을 통하여 MG1의 메시지는 RICC 1을 거쳐 전송이 되며, MG2의 메시지는 RICC 1과 2 모두 거쳐야 모든 MG2 노드에 전송이 가능하다. MG3의 경우는 RICC 2를 사용하여 데이터 전송을 수행한다.

그림 11은 메시지의 데이터 우선순위에 따른 RICC 1에서 전송하는 메시지의 데이터 비율 변화의 추세이다. RICC 1에서는 MG1과 MG2의 메시지가 전송이 된다. 먼저 MG1만이 전송이 될 경우, 먼저 전송 데이터가 메시지의 자리를 차지하고 남은 자리에 일반 데이터가 추가가 된다. 이 경우 모든 데이터를 전송하여도 RICC의 메시지슬롯이 여유가 있으므로 모든 데이터가 전송이 된다. 하지만 MG2의 메시지도 추가가 될 경우, 43%의 데이터에 추가적인 74%의 데이터가 발생하여 100%가 넘어가게 된다. 그렇기 때문에 전송 데이터의 손실을 막기 위해서 메시지에 전송 데이터를 먼저 담는다. 13%의 MG1의 전송 데이터와 34%의 MG2의 전송 데이터를 담은 후, MG1과 MG2의 일반 데이터를 채워 100%의 메시지를 만들게 되면 7%의 MG2의 일반 데이터는 손실이 발생하게 된다. MG3의 메시지가 추가로 발생하여도 RICC 1은 MG3의 메시지 전송에 관여를 하지 않으므로 추가적인 데이터의 변화가 발생하지 않는다.

그림 12는 메시지의 데이터 우선순위에 따른 RICC 2에서 전송하는 메시지의 데이터 비율 변화의 추세이다. RICC 2에서는 MG2와 MG3의 메시지가 전송이 된다. 먼저 MG1만이 전송이 될 경우, RICC 2는 MG1의 메시지 전송에 관여를 하지 않으므로 추가적인 데이터의 변화가 발생하지 않는다.

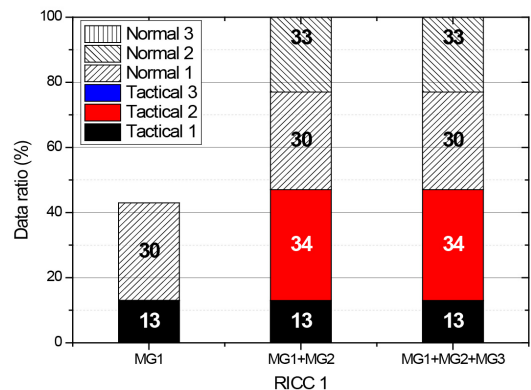


Fig. 11. Change of data ratio of RICC 1 by message filtering
그림 11. 메시지 필터링에 의한 RICC 1의 메시지 데이터 비율 변화

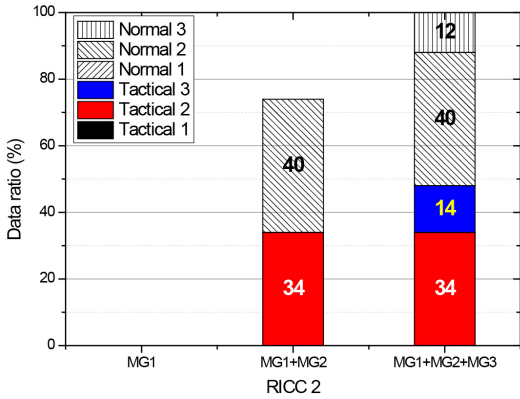


그림 12. 메시지 필터링에 의한 RICC 2의 메시지 데이터 비율 변화
Fig. 12. Change of data ratio of RICC 2 by message filtering

다음으로 MG2의 메시지가 발생할 경우, 먼저 전송 데이터가 메시지의 자리를 차지하고 남은 자리에 일반 데이터가 추가가 된다. 이 경우 모든 데이터를 전송하여도 RICC의 메시지슬롯이 여유가 있으므로 모든 데이터가 전송이 된다. 하지만 MG3의 메시지도 추가가 될 경우, 74%의 데이터에 추가적인 54%의 데이터가 발생하여 100%가 넘어가게 된다. 그렇기 때문에 전송 데이터의 손실을 막기 위해서 메시지에 전송 데이터를 먼저 담는다. 34%의 MG2의 전송 데이터와 14%의 MG3의 전송 데이터를 담은 후, MG2와 MG3의 일반 데이터를 채워 100%의 메시지를 만들게 되면 28%의 MG3의 일반 데이터는 손실이 발생하게 된다.

4.2 네트워크 부하 조절

네트워크의 부하가 증가하게 되면 해당 경로를 이용하는 모든 노드의 전송 능력이 감소하게 되어 정보 전달의 어려움이 발생한다. 지원을 효율적으로 사용하며, 네트워크의 부하를 조절하기 위해서, 새로 가입하는 노드가 RICC를 선택하는 부하 조절 알고리즘의 성능 평가하였다.

작전임무별 발생하는 부하량은 다음 표 9로 정의하였다. 그림 10의 작전 시나리오와 같은 상황에서, 메시지가 MG1이 발생, MG2의 메시지 추가 발생,

표 9. 작전임무그룹 별 발생하는 부하의 양
Table 9. Amount of generated load by mission group

MG	Load
MG1	13
MG2	34
MG3	14

MG3의 메시지 추가 발생의 순서로 메시지가 추가 발생하면서 RICC에 부하가 걸리는 양을 비교하여 부하 조절 능력을 평가 하였다.

능력의 평가를 위하여 노드 담당 RICC가 없는 경우와 노드 담당 RICC가 하나인 경우, 제안하는 라우팅 방식으로 비교를 하였다. 라우팅 방식에 따라 선정되는 RICC가 다르며 선정되는 RICC의 조합은 표 10과 같다.

그림 13은 노드를 담당하는 RICC가 없는 경우의 네트워크 부하 양을 나타내는 그래프이다. 노드를 담당하는 RICC가 없는 경우 메시지는 RICC 1과 2 모두 거쳐서 전송이 된다. 그렇기 때문에 네트워크의 부하가 모든 RICC에 동일하게 발생하여 네트워크를 낭비하게 된다. 먼저 MG1이 전송이 될 경우, RICC 1과 2에 모두 13%의 부하가 발생하게 된다. 다음으로 MG2의 메시지도 추가가 될 경우, 34%의 부하가 모든 RICC에 걸리게 된다. MG3의 메시지가 추가로 발생하면 역시 MG3의 14%의 부하가 모든 RICC에 추가가 되며, RICC 1과 2는 61%의 동일한 경로 부하를 가지게 된다. 이 시나리오의 경우 100%을 넘지 않아 문제가 발생하지 않았지만, 부하가 빠르게 증가하는 방식으로 문제가 발생하기 쉽다.

표 10. 라우팅 기법 별 가능한 RICC의 조합

Table 10. Possible combination of RICC by routing technique

MG	Proposed	One RICC	No RICC
MG1	{1,0} and {1,1}	{1,0} or {1,1}	{1,1}
MG2	{1,1}	{1,1}	{1,1}
MG3	{0,1} and {1,1}	{0,1} or {1,1}	{1,1}

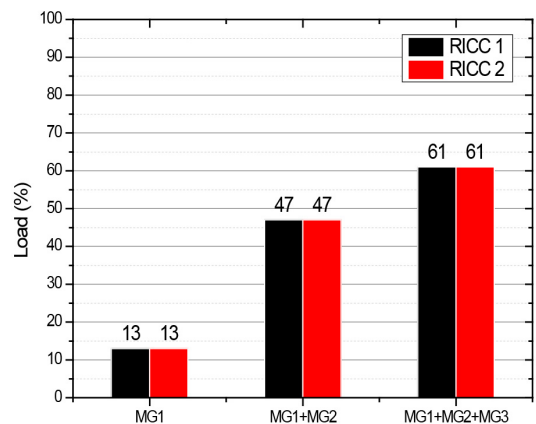


그림 13. 담당 RICC가 없는 경우 네트워크에 걸리는 부하의 양

Fig. 13. The amount of load on the network when RICC is not responsible for a node

그림 14는 노드를 담당하는 RICC가 하나인 경우의 네트워크 부하 양을 나타내는 그래프이다. 노드를 담당하는 RICC만을 거쳐서 전송이 된다. 그렇기 때문에 담당 RICC가 어떤 RICC가 되느냐에 따라, MG1의 경우 하나의 RICC를 이용하거나 두 개의 RICC를 이용하게 되는 경우의 수가 발생하게 된다. MG3의 경우도 마찬가지로 선택의 무작위성이 발생하게 된다. 그래서 최악의 경우와 최상의 경우를 통하여 평균적으로 RICC에 발생하는 부하를 계산하였다. 먼저 MG1이 전송이 될 경우, RICC 1은 항상 13%의 부하가 발생하게 되고, RICC 2의 경우 평균적으로 6.5%의 부하가 발생하게 된다. 다음으로 MG2의 메시지도 추가가 될 경우, 34%의 부하가 모든 RICC에 걸리게 된다. MG3의 메시지가 추가로 발생하면 MG3의 14%의 부하가 RICC 2에 추가가 되며, RICC 1은 무작위성으로 인하여 평균적으로 7%의 부하가 발생하게 된다. 따라서 그림 14와 같은 결과가 나오게 되며, 이 경우 부하가 빠르게 증가한다는 문제가 발생하기 쉽다.

그림 15는 제안하는 Zone 기반의 라우팅 기법을 사용할 경우의 네트워크 부하 양을 나타내는 그래프이다. Zone 기반의 라우팅 기법을 통하여 표 10의 Proposed 행의 RICC 조합을 구할 수 있으며, RICC 조합 중 부하가 적은 RICC를 선택할 수 있다. 먼저 MG1이 전송이 될 경우, 모든 RICC의 부하는 0%이므로 모든 RICC가 선택이 가능하며, 하나의 RICC를 선택하는 것이 전체 네트워크의 부하에 이득을 발생시키므로 하나의 RICC를 사용하는, RICC 1만 선택하여 RICC 1에 13%의 부하가 발생한다. 다음으로

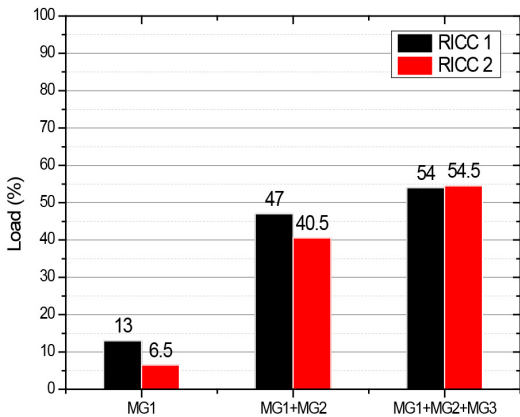


그림 14. 담당 RICC가 하나인 경우 네트워크에 걸리는 부하의 양
Fig. 14. The amount of load on the network when one RICC is responsible for a node

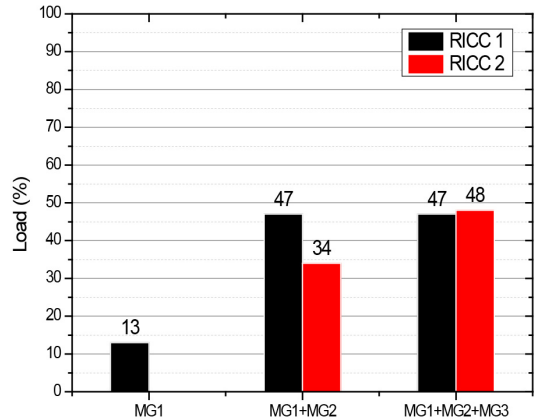


그림 15. 제안하는 기법에 의해 네트워크에 걸리는 부하의 양
Fig. 15. The amount of load on the network by the proposed technique

MG2의 메시지가 추가가 될 경우, 가능한 RICC 조합은 두 개의 RICC를 모두 사용하는 조합밖에 없기 때문에 34%의 부하가 모든 RICC에 걸리게 된다. MG3의 메시지가 추가로 발생하게 될 경우, MG3의 메시지는 RICC 1,2를 모두 사용하거나, RICC 2만을 사용하여 전송이 될 수 있다. MG1과 MG2의 메시지 전송으로 인하여 RICC의 부하가 RICC 1은 47%이고, 2는 34%이므로 MG3은 부하가 적게 발생할 수 있는 RICC 2를 선택하여 메시지 라우팅을 수행할 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 Link-K 완성형의 성능을 향상시키기 위한 작전임무그룹간의 정보 공유가 용이 할 수 있도록 지원하는 Zone 기반 무선 Link-K 네트워크 구조와 라우팅 기술에 대하여 제안하였다. 또한, 제안하는 라우팅 알고리즘의 효과를 증대시키기 위한 방안으로, 메시지를 우선순위에 따라 메시지의 데이터를 조절하는 필터링 기법과 네트워크의 부하를 조절하는 기법을 연구하였다. 제안하는 기법에 대하여 실제 작전환경에서의 성능을 평가하기 위하여, 작전 시나리오를 수립하고 시나리오 상황에 맞추어 성능을 평가하였다. 성능평가의 결과에서도 볼 수 있듯이, 제안하는 기법을 통하여 우선순위가 높은 데이터의 손실을 방지하여 메시지 전송의 안정성을 보장하였으며, 제안하는 라우팅 알고리즘을 통하여 네트워크의 부하를 낮게 조절하는 모습을 확인하였다. 추후 우선순위가 낮아 손실이 발생한 일반 메시지도 보장할 수 있는 연구가 수행된다면 더욱 안정적으로 운용이 될 수 있을 것이다.

References

[1] US DoD, *Network Centric warfare report to congress*, Jul. 2001.

[2] H. Baek, S. Jeong, and J. Lim, "Tactical data link technology trends for network-driven operation," *Commun. Korean Inst. Inf. Sci. and Eng.*, vol. 28, no. 7, pp. 59-69, Jul. 2010.

[3] J. S. Kim, S. J. Kim, and M. Y. Lim, "Overview of tactical data link technology," *Commun. Korean Inst. Inf. Sci. and Eng.*, vol. 25, no. 9, pp. 18-28, Sept. 2007.

[4] Northrop Gruman, *Understanding Link-16, a guidebook for new users*, Logicon Inc., 1998.

[5] K. Kim, K. Lee, and J. Lim, "Alternative scheme of INS-Dependent positioning for relative navigation without GRUs," *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 2520-2527, Dec. 2015.

[6] J. Yu, et al., "Group-based frequency hopping scheme for improving multi-net performance of link-16 waveform with limited frequency band," *J. KICS*, vol. 41, no. 1, pp. 110-121, 2016.

[7] K. Samuelson, E. Valovage, and D. Hall, "Enhanced ads-b research," *IEEE Aerospace Conf.*, vol. 22, no. 5, pp. 35-38, 2006.

[8] K. Yang, H. Baek, K. Park, J. Lim, and J. H. Park, "Priority based medium access control and load balancing scheme for shared situational awareness in airborne tactical data link," *J. KICS*, vol. 41, no. 10, pp. 1210-1220, Oct. 2016.

[9] S. C. Kim and H. K. Lee, "Development of korean joint tactical data link system based on CLIP," *J. IKEEE*, vol. 15, no. 1, pp. 15-22, 2011.

[10] Z. He, et al., "Link-16 model architecture for multiple nets simulation in NS-2," *IEEM*, pp. 1645-1649, Dec. 2010.

[11] Richard S. Deakin, "*Battlespace Technologies: Network-enabled Information Dominance*," Artech House, 2010.

전민환 (Minhwan Cheon)



2013년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 학사
 2015년 2월 : 아주대학교 소프트웨어특성화학과 석사
 2015년 3월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 전술데이터링크, 무선네트워크

백호기 (Hoki Baek)



2006년 2월 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학 학사
 2008년 2월 : 아주대학교 정보통신공학 석사
 2014년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학 박사
 2014년 3월~2015년 2월 : 아주

대학교 장위국방연구소 선임연구원
 2015년 3월~현재 : 아주대학교 국방디지털융합학과 특임교수
 <관심분야> 전술데이터링크, 다중 접속, 시간동기, 위치인식, 무선네트워크

지승배 (Seungbae Jee)



2001년 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 : KAIST 전자공학과 (공학석사)
 2003년~2006년 : 삼성 SDS 연구원
 2006년~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> NCW(Network Centric Warfare), 전술데이터링크 시스템 및 프로토콜, 전술데이터링크 상호운용성

김 상 준 (Sangjun Kim)



1986년 : 한양대학교 전자통신
공학과 (공학사)
1988년 : 한양대학교 전자통신
공학과 (공학석사)
1988년~현재 : 국방과학연구소
수석연구원

<관심분야> NCW(Network Centric Warfare), 전술
데이터링크 프로토콜, 전술데이터링크 상호운용
성, WDL(Weapon Data Link)

임 재 성 (Jaesung Lim)



1983년 2월 : 아주대학교 전자
공학 학사
1985년 2월 : KAIST 영상통신
석사
1994년 2월 : KAIST 디지털통
신 박사
1998년 3월~현재 : 아주대학교
소프트웨어학과 정교수

2004년 3월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연
구센터장

<관심분야> 이동 및 위성통신, 무선네트워크, 국방
전술통신