

전술 에드혹 환경에서 이종망 게이트웨이 구조 및 시뮬레이션 연구

노봉수 · 한명훈 · 권대훈 · 함재현 · 윤선희 · 하재경 · 김기일[†]

Heterogeneous Network Gateway Architecture and Simulation for Tactical MANET

Bong Soo Roh · Myoung Hun Han · Dae Hoon Kwon · Jae Hyun Ham · Seon Hui Yun ·
Jae Kyoung Ha · Ki Il Kim[†]

ABSTRACT

The tactical mobile ad-hoc network(MANET) consists of distributed autonomous networks between individual ground nodes, which is effective in terms of network survivability and flexibility. However, due to constraints such as limited power, terrain, and mobility, frequent link disconnection and shadow area may occur in communication. On the other hand, the satellite network has the advantage of providing a wide-area wireless link overcoming terrain and mobility, but has limited bandwidth and high-latency characteristic. In the future battlefield, an integrated network architecture for interworking multi-layer networks through a heterogeneous network gateway (HNG) is required to overcome the limitations of the existing individual networks and increase reliability and efficiency of communication. In this paper, we propose a new HNG architecture and detailed algorithm that integrates satellite network and the tactical MANET and enables reliable data transfer based on flow characteristics of traffic. The simulations validated the proposed architecture using Riverbed Modeler, a network-level simulator.

Key words : Tactical MANET, Gateway, Simulation

요약

전술 에드혹 환경은 개별 지상 노드 간 분산적인 형태의 자율망으로 구성되므로 네트워크의 생존 가능성 및 유연성 측면에서 효과적이나 기동 간 통신 시 제한된 출력, 지형특성, 이동성 등의 제약으로 인하여 잦은 링크 단절 및 음영지역이 발생할 수 있다. 반면 위성 통신망은 지상 기동 망에 비해 지형특성과 이동성을 극복한 광역 무선 링크를 제공할 수 있는 장점이 있으나 상대적으로 한정된 대역폭 및 고지연 특성의 망이다. 미래 전장 환경에서 기존의 단독망 형태의 제약사항을 극복하고 지휘 통제 통신의 신뢰성 및 효율성을 높이기 위해서는 이종망 게이트웨이(Heterogeneous network gateway, HNG)를 중심으로 위성 통신망을 포함한 다계층 통합 네트워크 구조가 요구된다. 본 논문에서는 전술 에드혹 환경에서 위성-전술 에드혹 망을 통합적으로 고려하고 유통되는 임무 트래픽의 플로우 특성에 기반하여 신뢰성 있는 데이터 전달이 가능한 이종망 게이트웨이 구조 및 세부 알고리즘을 제시한다. 시뮬레이션은 네트워크 수준의 시뮬레이터인 Riverbed Modeler를 활용하여 제시하는 구조의 유효성을 확인하였다.

주요어 : 전술 에드혹, 게이트웨이, 시뮬레이션

1. 서론

전술 에드혹 환경은 네트워크 생존 가능성을 위하여 기지국 등의 별도 인프라 구조 없이 개별 지상 노드 간 분산적인 형태의 자율망으로 구성된다. 그러므로 지상 노드의 기동 간 통신 시 제한된 출력, 지형특성, 이동성 등의 물리적인 제약으로 인하여 링크 단절, 음영지역 및 그

Received: 1 February 2019, Revised: 2 June 2019,
Accepted: 7 June 2019

[†] Corresponding Author: Ki Il Kim

E-mail: kikim@cnu.ac.kr

Chungnam National University Computer Engineering

로 인한 망간 분리가 수시로 발생할 수 있다. 반면 위성 통신망은 지상 기동 망에 비해 지형특성과 이동성을 극복한 광역 무선 링크를 제공할 수 있는 장점이 있으나, 다수의 가입자가 주파수 재사용 없이 한정된 대역폭을 점유하여 서비스하는 형태의 망이므로 상대적으로 전송 속도가 낮고 위성체 고도에 따라 높은 왕복전송시간(Round trip time, RTT)을 가지는 고지연 특성의 망이다.

최근 위성망을 포함한 다계층의 이종망 연동을 통하여 이동 에드혹 망(Mobile ad-hoc network, MANET)의 제약사항을 극복하기 위한 기술이 활발히 연구가 진행되고 있다(AL-Bayati, 2018; Dhaou et al., 2015). 대표적인 통합망 연구사례로서 영국의 SURREY 대학에서 수행한 MONET(Mechanism for Optimization of Hybrid Ad hoc Networks)(MONET Project, 2010)은 종단 간 서비스 품질(Quality of service, QoS) 및 자원 최적화에 초점을 맞추어 효율적인 위성-지상 기동 망간 하이브리드 네트워크 구성을 진행한 프로젝트이다. 또 다른 연구사례로서 DUMBONET(Digital Ubiquitous Mobile Broadband Optimized Link State Protocol Network) (Kanchanasut, 2007)은 아시아 국가들을 주축으로 재난지역 또는 통신 기반시설이 취약한 지역을 지원하기 위한 응급통신 네트워크 구성을 목적으로 에드혹 망과 위성망이 단일 오버레이 네트워크로 동작 가능한 구조를 제시하였다.

하지만, 기존의 위성-이동 에드혹 망간 이종망 게이트웨이에 대한 연구는 주로 상용의 네트워크 환경을 대상으로 이루어져왔으며, 이질적인 망 특성 및 에드혹 망에서 유통되는 트래픽에 대한 특성을 고려하기 어려운 제약사항이 존재하였다. 특히 전술 에드혹 네트워크 환경은 노드의 파괴 및 재밍 등 동적 토폴로지 변화가 자주 발생할 수 있으며, 제한된 지연시간 이내에 임무에 필요한 중요트래픽의 신뢰성 있는 전달이 필수적으로 요구된다.

이에 본 논문에서는 위성-전술 에드혹 망이 통합적으로 운용되는 전술 네트워크 환경에서 유통되는 임무 트래픽 플로우의 특성에 기반하여 신뢰성 있는 데이터 전달이 가능한 이종망 게이트웨이 구조 및 세부 알고리즘을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 이동 에드혹 망과 이종의 네트워크를 연동하기 위한 기존 연구 및 한계점을 살펴본 후 3절에서는 본 논문에서 제안하는 이종망 게이트웨이 구조 및 세부 알고리즘을 제시한다. 4절에서는 네트워크 시뮬레이터인 Riverbed Modeler를 활용한 시뮬레이션 환경 및 성능분석 결과를 제안한 다음, 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구 및 한계점

기존 단독망 형태로 운용되는 이동 에드혹 망과 이종의 특성을 갖는 네트워크를 연동하여 기존 기술의 한계를 극복하려는 연구는 이동 에드혹 망-이동통신(MANET-Cellular)(Aggelou and Tafazolli, 2001; Cavalcanti et al., 2005; Wu et al., 2006), 이동 에드혹 망-인터넷(MANET-Internet)(Abduljalil and Bodhe, 2007; Kushwah et al., 2018), 이동 에드혹 망-무선센서네트워크(MANET-WSN) (Shah, 2003), 이동 에드혹 망-장애감내망(MANET-DTN) (Whitbeck and Connan, 2009; Kawamoto et al., 2013; Raffelsberger and Hellwagner, 2013) 등 다양한 분야에서 진행되어 왔다. 이동 에드혹 망과 이종의 네트워크간 연동접점에는 망간 접속을 가능하도록 역할을 수행하는 개체인 게이트웨이의 역할이 중요시 된다. 게이트웨이는 Figure 1과 같이 이동성 여부에 따라 고정형(Fixed) 혹은 이동형(Mobile) 형태로 분류될 수 있으며, 네트워크에 배치되는 수에 따라 단일(Single) 혹은 다중(Multiple) 게이트웨이 구조로 분류될 수 있다.

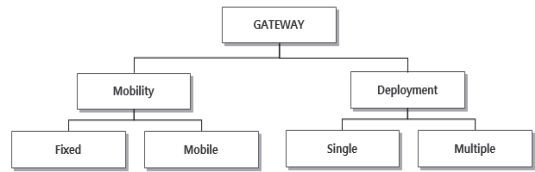


Fig. 1. Gateway classifications

전술 에드혹 네트워크 환경에서 운용되는 이종망 게이트웨이는 기본적으로 지상 에드혹 망의 기동성 및 생존 가능성을 고려해야하므로 이동형 다중 게이트웨이로 분류할 수 있으며, 동적 라우팅 토폴로지와 연계하여 이종망 특성 및 유통되는 트래픽의 특성에 따라 효율적인 연동접점 게이트웨이를 선택할 수 있어야 한다.

기존 연구에서는 게이트웨이의 부하 혹은 이종망 라우팅 비용을 통해 게이트웨이를 선택하는 연구는 있었으나 트래픽 플로우 특성에 대한 고려는 반영하기 어려운 제약사항이 존재하였다. 기존의 게이트웨이 부하 알고리즘은 일반적으로 게이트웨이의 단위시간당 누적되는 큐 길이를 통해 산정하며 이를 통해 서비스를 수행할 게이트웨이를 선택하는 형태이다. 이는 게이트웨이 측면에서 서비스 수용 여부를 결정하므로 트래픽 플로우의 서비스 품질 만족 여부를 고려하지 않는다. 기존의 이종망의 라우팅 비용에 대한 연구도 일반적으로 트래픽 발생 노드

와 게이트웨이 간 라우팅 측면에서의 경로 비용만을 고려한다.

이에 본 논문에서는 위성-지상간 이동형 다중 게이트웨이 구조 하 이종망간 지연시간 특성, 경로안정도, 트래픽 플로우의 세션유지시간을 고려한 이종망 게이트웨이 구조를 제안한다. 또한 네트워크 수준의 시뮬레이션을 통하여 제안하는 방법의 지연시간, 전송성공률, 수신량 측면에서 성능을 분석한다.

3. 제안하는 이종망 게이트웨이 구조

3.1 기본 운용구조

본 논문에서 제안하는 전술 에드혹 환경의 이종망 게이트웨이 기본 운용구조는 Figure 2와 같다. 지상의 전술 에드혹 망은 개별 무선기노드간 자율적으로 구성되는 라우팅 토폴로지 정보에 의하여 동적으로 경로가 구성되며, 지휘통제를 위해 필요한 데이터를 상위 제대의 전술 백본 네트워크에 전송하게 된다.

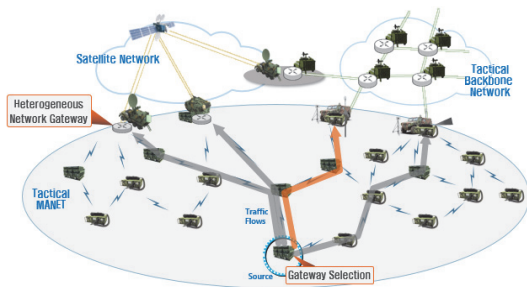


Fig. 2. The basic concept of heterogeneous network gateway for tactical MANET

위성 통신망은 전술 에드혹 망의 일부 노드에 배치되어 연동 접점에 해당하는 위성-전술 에드혹 망간 이종망 게이트웨이를 통해 무선 백홀(Backhaul) 링크로서 프레임변환 및 전송속도를 고려한 버퍼링을 수행하게 된다.

전술 에드혹 망의 트래픽 송신을 요청하는 소스 노드는 이동성 및 무선 채널 열화로 인하여 전술 백본 네트워크로 전송되는 경로가 단절되는 경우, 위성 통신 링크가 존재하는 다수의 이종망 게이트웨이로부터 지연시간 특성, 경로안정도, 트래픽 플로우의 특성을 고려하여 최적의 게이트웨이 선택을 수행하게 된다.

3.2 이종망 게이트웨이 라우팅 프로토콜 설계

전술 에드혹 환경에서 소스 노드가 이종망 게이트웨이

의 존재를 인지하고 최적의 게이트웨이를 선택할 수 있도록 수행하는 전체 이종망 게이트웨이 라우팅 프로토콜의 흐름도는 Figure 3과 같다. 이종망 게이트웨이의 탐색은 기본적으로 게이트웨이 노드가 주기적으로 전송하는 게이트웨이 광고 메시지 혹은 비주기적인 게이트웨이 요청/응답 메시지를 통해 수행된다. 소스 노드는 수신된 게이트웨이 탐색 패킷 내에 포함되어 있는 정보를 바탕으로 최적 게이트웨이 선택을 위한 라우팅 메트릭을 계산하게 되며, 계산 결과를 기반으로 주/예비 게이트웨이 리스트를 생성하여 관리하며 정보갱신 시점을 기준으로 타이머를 시작하게 된다. 이때 현재 이종망 게이트웨이를 통해 서비스 되는 트래픽 플로우의 세션이 존재하는 경우에는 서비스 품질 만족여부를 통해 새로운 게이트웨이 탐색에 대한 수행여부를 결정한다. 만약 서비스 되는 트래픽이 없는 경우에는 서비스 품질 만족이 가능한 게이트웨이에 대한 게이트웨이 등록 메시지를 통한 요청 절차를 수행하게 된다. 이종망 게이트웨이는 소스 노드로부터 수신된 게이트웨이 등록 메시지를 통해 수집된 메트릭에 대한 정보와 서비스의 트래픽 요구사항에 대한 정보를 기준으로 등록 여부를 판단하게 된다. 만약, 게이트웨이의 병목 등으로 인하여 멤버노드의 수용이 불가능하거나 트래픽의 서비스 품질 만족이 불가능한 상태일 경우는 게이트웨이 에러 메시지를 전송함으로써 등록 정보를 소스 노드에 알려주게 된다.

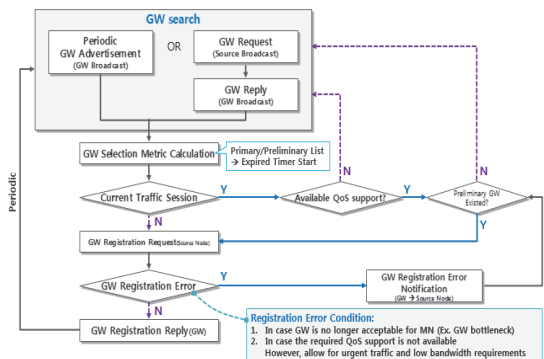


Fig. 3. Flow diagram of HNG routing protocol

3.3 이종망 게이트웨이 선택을 위한 통합 라우팅 메트릭 설계

본 논문에서는 최적의 이종망 게이트웨이 선택을 위하여 지상의 전술 에드혹 환경 특성과 위성 통신망의 통합 운용을 고려한 통합 라우팅 메트릭 개념을 적용하였다.

지상의 전송 에드혹 환경 특성 및 위성 통신망의 지연 특성 반영을 위한 통합전송예상시간(Integrated expected transmission time, IETT)와 동적으로 변화하는 네트워크 환경의 토폴로지 변화에 대한 경로 안정성을 평가하는 경로안정도(Path stability rate, PSR), 최종적으로 트래픽 플로우에 대한 특성을 가중치 형태로 반영한 종합비용함수(Total cost function, TCF)로 구성된다.

$$IETT_p = \sum_{link_i \in p} \left(ETX_i \times \frac{S}{ABW_i} \right) + (SD_p) \quad (1)$$

$$SD_p = \begin{cases} T_{tdsat} + T_{qdsat}, & \text{if satellite link exists} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Equation (1)의 경로 p 에 대한 통합예상전송시간($IETT_p$)은 전송 에드혹 망의 지연시간과 위성 통신망의 지연시간 측면에서 통합적인 비용을 계산하기 위한 라우팅 메트릭이다. 전송 에드혹 망의 개별노드는 소스 노드에서 이종망 게이트웨이까지의 경로 p 상에 존재하는 링크 i 에 대한 헬로우(Hello) 메시지 전달성공률에 기반한 라우팅 메트릭인 예상전송횟수(ETX)(Expected transmission count) (Couto et al., 2003)값과 링크별 가용 대역폭(ABW)(Available bandwidth), 평균 송신 패킷크기(S)를 통해 무선 에드혹 구간의 전송예상시간(Expected transmission time, ETT)값을 계산한다. 만약, 경로 p 상에 위성링크가 존재한다면 Equation (2)의 물리적인 위성 전송시간(T_{td})과 위성 백홀링크의 큐잉지연시간(T_{qd})을 반영한 경로 위성지연시간(SD_p) 값을 가산하여 경로 p 에 대한 통합예상전송시간 값을 도출한다.

$$PSR_p = \{ \min_{link_i \in p} URC_i \} \quad (3)$$

Equation (3)은 경로 p 에 대한 경로안정도(PSR_p)는 소스 노드에서 이종망 게이트웨이까지의 경로 p 상에 존재하는 링크 i 에 대한 경로 안정성을 평가하기 위하여 개별 노드는 일정주기로 경로관리를 수행하는 헬로우 메시지 및 게이트웨이 광고 메시지를 통해 해당 링크에 대한 업데이트 횟수를 누적한다. 해당 경로의 경로안정도 값이 클수록 상대적으로 장시간 동안 안정된 링크를 유지한 결과이므로 이를 통해 경로의 안정성을 평가할 수 있다. 소스 노드는 라우팅 탐색 시 수집된 정보를 바탕으로 경로 p 의 최소 경로안정도 값을 반영한다.

$$TCF_p = (1 - w_{st})(IETT_p)^\alpha + w_{st}(PSR_p)^\beta \quad (4)$$

Equation (4)는 앞에서 계산된 경로 p 에 대한 통합예상전송시간과 경로안정도를 고려하면서, 최종적으로 서비스 트래픽의 특성을 고려한 경로 p 에 대한 종합비용함수(TCF_p) 값을 계산하게 된다. 종합비용함수는 서비스 트래픽의 세션유지시간(w_{st})을 반영한 사전 설정 값이다. 세션유지시간 값은 개별노드별 망계획을 통해 주입되는 서비스 트래픽 서비스품질 정책에 관련된 정보로서 정의된다. 종합비용함수 값은 세션유지시간이 짧은 단회성 패킷 기반 지휘통제 데이터(예, 긴급전문 등)인 경우에 상대적으로 경로안정도 보다는 통합예상전송시간 값에 의한 지연시간 특성이 짧은 게이트웨이를 선택하도록 반영하고, 반면 세션유지시간이 상대적으로 긴 다회성 패킷 기반 서비스(예, 음성패킷(Voice over internet protocol, VoIP) 등)인 경우에는 경로안정도 값에 우선순위를 두고 안정된 경로를 구성하도록 가중치를 반영한다. $\alpha \geq 1$ 값과 $\beta \geq 1$ 값은 통합예상전송시간과 경로안정도의 정량적인 수치를 정규화하기 위한 튜닝 파라미터이다.

$$Load_{gw} = Avg.QL_{gw} / Avg.BW_{gw} \quad (5)$$

Equation (5)는 종합비용함수와 별도로 이종망 게이트웨이의 게이트웨이부하도($Load_{gw}$)를 평가하기 위한 메트릭으로서 게이트웨이의 평균 큐 길이($Avg.QL_{gw}$)와 백홀링크의 평균 대역폭($Avg.BW_{gw}$) 정보를 바탕으로 계산된다.

전체 이종망 게이트웨이 선택을 위한 통합 메트릭 계산 절차는 Figure 4와 같다. 통합 라우팅 메트릭 계산을 위한 알고리즘의 기본 흐름은 중요트래픽 여부에 따라 이종망 게이트웨이의 로드를 고려하되, 트래픽 플로우의 특성에 따라 통합예상전송시간 및 경로안정도를 고려하여 최종적인 이종망 게이트웨이를 선정하는 절차로 구성되어 있다.

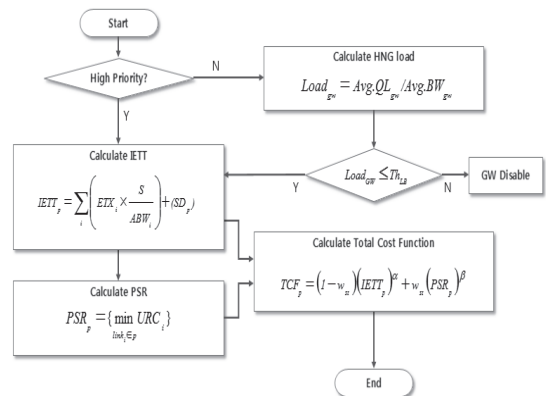


Fig. 4. Flow diagram of Integrated Metric Calculation

4. 시뮬레이션 환경 및 성능분석 결과

4.1 시뮬레이션 도구 및 환경

본 논문에서 제안하는 이종망 게이트웨이 구조에 대한 통합 메트릭 성능분석을 위하여 네트워크 수준의 이산사건 이벤트 기반 시뮬레이터인 Riverbed Modeler(버전 18.6)를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위한 모델은 Table 1과 같이 지상 에드혹 노드와 게이트웨이 역할을 수행하는 이종망 게이트웨이 노드로 구분하여 모델링 하였으며, 개별 노드간 트래픽 쌍이 생성되어 유통될 수 있도록 32개 트래픽 플로우로 트래픽 모델을 정의하였다. 이종망 게이트웨이 노드의 성능에 차이를 두기 위하여 비트에러율(Bit Error Rate, BER)을 각 이종망 게이트웨이 별로 다른 값을 설정하였다.

Table 1. Simulation parameters

Classification	Index	Parameters
Ground Ad-hoc Node	Number of Nodes	32
	Data Rate	2 Mbps
	Hello Interval	30 sec
HNG Node	Number of Nodes	3
	BER(HNG1)	10^{-8}
	BER(HNG2)	10^{-6}
	BER(HNG3)	10^{-5}
	Data Rate(Backbone)	4 Mbps
	Data Rate(Sat)	128 Kbps
Traffic Model	Transmission Rate	100 kbps
	Distribution of Packet Inter-arrival Time / Distribution of Packet Size	Exponential
	Number of flows	32

4.2 시뮬레이션 시나리오

시뮬레이션 시나리오는 Riverbed Modeler를 통해 모델링된 지상 에드혹 노드 및 게이트웨이 노드를 Figure 5와 같이 연대급 네트워크 규모에서 4개 대대가 집결지에서 임무 수행을 위해 일정시간 이후에 4개 그룹으로 분산 이동하는 상황을 모의하였다. 4개 그룹 중 1대대, 2대대, 4대대에는 지휘소(Command post) 및 타 대대와 연결 가능한 위성 백홀링크와 전술 에드혹 네트워크와 연동접점을 구성하는 이종망 게이트웨이 노드를 배치하였다.

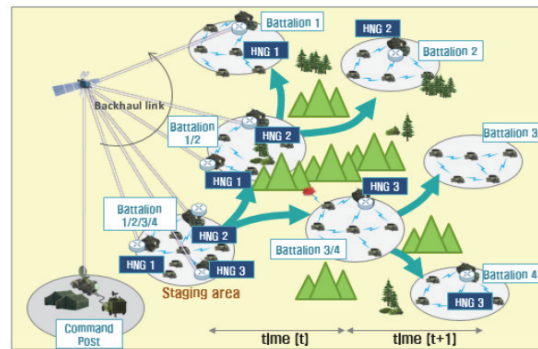
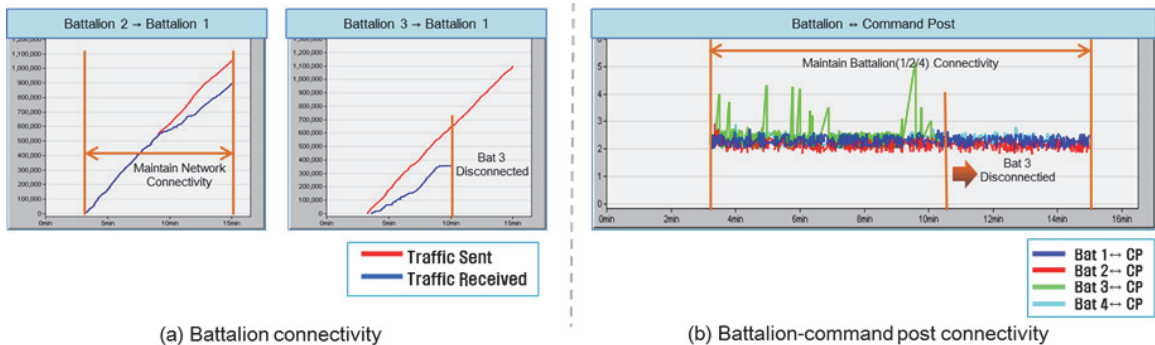


Fig. 5. HNG simulation scenario

4.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 이종망 게이트웨이 구조 및 통합 라우팅 메트릭의 성능분석을 위하여 통신 생존 가능성 측면에서 분석하기 위한 네트워크 연결성 측면의 성능분석 결과와 통신 효율성 측면의 이종망 게이트웨이 선택 시 통합 라우팅 메트릭의 적용 여부에 의한 성능분석 결과를 제시하였다.

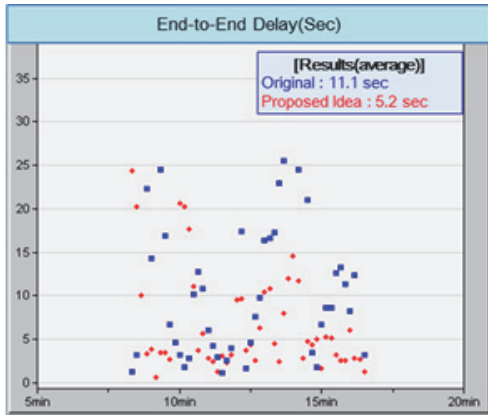
Figure 6은 네트워크 연결성 관점에서 대대 간 혹은 대대-연대 간 기동 간 이종망 게이트웨이의 배치 여부에



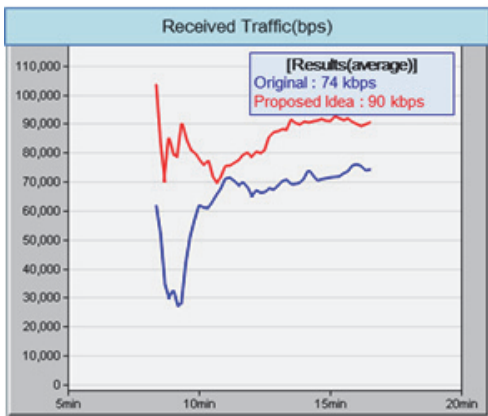
(a) Battalion connectivity

(b) Battalion-command post connectivity

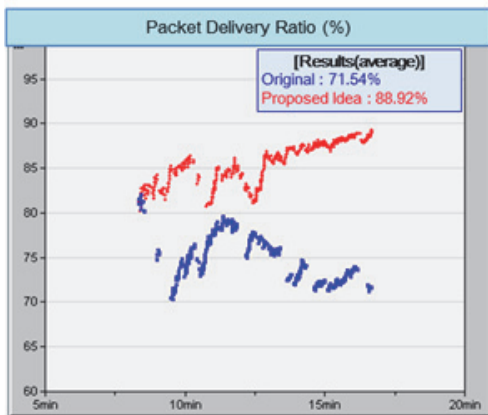
Fig. 6. Simulation results for network connectivity with implemented node models



(a) End-to-end delay



(b) Received traffic



(c) Packet delivery ratio

Fig. 7. Simulation results for measure of performance with HNG selection scheme

따라 네트워크 연결성에 대한 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션 결과의 x축은 시뮬레이션 상의 시간 경과를

보이며, y축은 Figure 6a와 6b 각각 송수신 트래픽량, 대대-연대 간 연결 수를 보인다. 대대 간 혹은 대대-연대 간 통신의 경우 전술 에드혹 네트워크 시뮬레이션 시나리오의 기동 경로에 따라 위성 백홀링크에 절체됨에 의해 일부 트래픽 수신량의 저하가 발생할 수는 있지만, 항상 네트워크 연결성을 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

Figure 7은 제안 구조의 알고리즘의 성능 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션 결과의 x축은 시뮬레이션 상의 시간경과를 보이며, y축은 Figure 7a, 7b, 7c 각각 종단 간 지연, 트래픽 수신량, 패킷 전송 성공률을 보인다. 이종망 게이트웨이 선택 시 기존 최소 홵(Hop) 수 기반의 라우팅 메트릭과 제안하는 이종망 게이트웨이 선택 시 통합 라우팅 메트릭 적용 알고리즘 간의 비교를 통해 종단 간 지연시간 측면에서는 기존의 약 11.1초에서 5.2초로 단축됨을 알 수 있었고, 평균 트래픽 수신량 측면에서는 기존 74 kbps에서 약 90 kbps로 증가하였고, 전송 성공률 측면에서는 기존 71.54%에서 88.92%로 향상됨을 확인할 수 있었다.

결과적으로 위성 통신망과 통합 운용되는 전술 에드혹 환경에서 이종망 게이트웨이의 배치 유무 및 통합 라우팅 메트릭 적용 여부에 따라 기존 방법대비 네트워크 생존 가능성 및 효율성 측면에서 좋은 성능을 기대할 수 있었다. 이는 전술 에드혹 환경 특성과 위성통신망 통합 운용 특성을 고려하게 한 복잡한 구조의 적용 및 경로의 상태 정보를 획득을 위해 유동되는 제어 메시지에 추가 정보를 포함시킨 오버헤드 증가에 의한 이득이다.

5. 결론

본 논문에서는 전술 에드혹 환경에서 이종망간 지연시간 특성, 경로안정도, 트래픽 플로우의 세션유지시간을 고려한 이종망 게이트웨이 구조를 제안하였다. 미래 전장 환경에서 지휘 통제를 위한 기본 수단인 데이터 통신은 생존 가능성과 효율성을 동시에 만족할 수 있는 형태로 설계가 되어야 하며 네트워크의 상황변화에 대한 인지 및 트래픽 플로우 특성에 적합한 형태로 서비스가 되어야 할 것으로 판단된다. 그러므로 전술 에드혹 네트워크는 기존의 단독망 운용 형태에서 위성을 포함한 다계층의 통합 운용 네트워크 구조로 발전될 것으로 기대되며, 본 논문에서 제안하는 이종망 게이트웨이 구조 및 알고리즘을 기반으로 추후 이종망 간 통합 운용이 가능한 게이트웨이 시스템을 개발하는 데 활용하고자 한다.

References

- Abduljalil, F. M. and S. K. Bodhe (2007) "A survey of integrating IP mobility protocols and mobile ad hoc networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 9(1), 14-30.
- Aggelou, G. N. and R. Tafazolli (2001) "On the relaying capability of next-generation GSM cellular networks", *IEEE Personal Communications*, 8(1), 40-47.
- AL-Bayati, J. M. H. (2018), "Integrating Wireless Ad Hoc Network with Satellite Network in a Multicast Environment to Support Communication Restoration Teams in Disaster Situations", *International Journal of Computer Science and Network Security*, 18(2), 10-17.
- Cavalcanti, D., D. Agrawal, C. Cordeiro, B. Xie and A. Kumar (2005) "Issues in integrating cellular networks WLANs, AND MANETs: a futuristic heterogeneous wireless network", *IEEE Wireless Communications*, 12(3), 30-41.
- Couto, D. S. J. D., D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris (2003) "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing", *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*, San Diego, USA, 134-146.
- Dhaou, R., L. Franck, A. Halchin, E. Dubois and P. Gelard (2015), "Gateway Selection Optimization in Hybrid MANET-Satellite Network", *Proceedings of international conference on Wireless and Satellite systems 2015*, Bradford, UK, 331-344.
- Kanchanasut, K., A. Tunpan, M. A. Awal, D. K. Das, T. Wongsardsakul and Y. Tsuchimoto (2007) "DUMBONET: a multimedia communication system for collaborative emergency response operations in disaster-affected areas", *International Journal of Emergency Management*, 4(4), 670-681.
- Kawamoto, Y., H. Nishiyama and N. Kato (2013) "Toward terminal-to-terminal communication networks: A hybrid MANET and DTN approach", *Proceedings of 2013 IEEE 18th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, Berlin, Germany, 228-232.
- Kushwah, R., S. Tapaswi, A. Kumar and K. K. Pattanaik (2018), "Gateway load balancing using multiple QoS parameters in a hybrid MANET", *Wireless Networks*, 24(4), 1071-1082.
- MONET Project (2010), Available at <http://monet.tekever.com/> (Accessed January 30, 2019)
- Raffelsberger, C. and H. Hellwagner (2013) "A hybrid MANET-DTN routing scheme for emergency response scenarios", *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, San Diego, USA, 505-510.
- Shah, R.C., S. Roy, S. Jain and W. Brunette (2003) "Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks", *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications 2003*, Anchorage, USA, 30-41.
- Whitbeck, J. and V. Conan (2009) "HYMAD: Hybrid DTN-MANET routing for dense and highly dynamic wireless networks", *Proceedings of 2009 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops*, Kos, Greece, 1-7.
- Wu, J., M. Jaseemuddin and A. Esmailpour (2006) "Integrating UMTS and Mobile Ad Hoc Networks", *Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, Montreal, Canada, 196-204.
- Zadeh, A.N., B. Jabbari, R. Pickholtz and B. Vojcic (2002) "Self-organizing packet radio ad hoc networks with overlay (SOPRANO)", *IEEE Communications Magazine*, 40(6), 149-157.



노 봉 수 (saintroh@add.re.kr)

2004 한양대학교 전자전기공학부, 학사
2006 포항공과대학교, 컴퓨터공학과, 석사
2006~ 현재 국방과학연구소, 선임연구원

관심분야 : 군 전술통신, MANET, 인지무선통신



한 명 훈 (meddor@kangwon.ac.kr)

2007 중앙대학교 컴퓨터공학과, 학사
2009 중앙대학교 컴퓨터공학과, 석사
2013 중앙대학교 컴퓨터공학과, 박사수료
2014~ 현재 국방과학연구소, 선임연구원

관심분야 : 군 전술통신, MANET, 네트워크 M&S



권 대 훈 (dhkown@add.re.kr)

1999 경북대학교 컴퓨터공학과, 학사
2002 경북대학교 컴퓨터공학과, 석사
2002~ 현재 국방과학연구소, 선임연구원

관심분야 : 군 전술통신, MANET, 무선통신



함 재 현 (mjhham@add.re.kr)

1999 동국대학교 컴퓨터공학과, 학사
2001 포항공과대학교 컴퓨터공학과, 석사
2016 고려대학교 컴퓨터정보학과, 박사
2001~ 현재 국방과학연구소, 책임연구원

관심분야 : 전술통신, MANET, Traffic Monitoring and Analysis



윤 선희 (seonhui.yun@lignex1.com)

2006 충남대학교 전자전파정보통신공학부, 학사
2008 충남대학교 정보통신공학과, 석사
2008~ 2012 한국전자통신연구원 연구원
2015~ 현재 LIG넥스원 C4I연구소 선임연구원

관심분야 : 이동통신, 군 위성통신



하 재 경 (jkha@solvitsystem.co.kr)

1989~1994 한양대학교 전자통신공학과 공학사
1996~1998 한양대학원 전파공학과 공학석사
1994~2003 LG전자 연구소 선임연구원
2003~2006 (주)바른정보커뮤니티 기술연구소 책임연구원
2006~2007 (주)기산텔레콤 연구소 책임연구원
2007~현재 (주)솔빛시스템 기술연구소 연구소장

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 효과도 분석



김 기 일 (kikim@cnu.ac.kr)

2000 충남대학교 컴퓨터공학과, 이학사
2002 충남대학교 컴퓨터공학과, 이학석사
2005 충남대학교 컴퓨터공학과, 이학박사
2006~ 2016 경상대학교 정보공학과 부교수
2106~ 현재 충남대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 통신프로토콜, 네트워크M&S, 네트워크분석