

# 전장 환경에서 접촉 횟수 정보를 고려한 확률적 라우팅 기법

## A Probabilistic Routing Mechanism Considering the Encounter Frequency in the Battlefield Environment

이 종 목\*

Jongmok Lee

강 경 란\*

Kyungran Kang

조 영 종\*

Young-jong Cho

### ABSTRACT

The network nodes in a tactical network moves continuously and due to the physical and electronic obstacles, the connections are not always available. Due to the frequent disconnections, it is hard to discover the path among the nodes in a DTN. According to PROPHET(Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity), one of the most well-known DTN routing protocols, a DTN node determines whom to forward a packet according to the packet delivery probability. From the viewpoint of a node, the packet delivery probability of another node is degraded while the nodes are disconnected whereas it is improved when they encounter. In this paper, we enhance the algorithm estimating the packet probability by considering the encounter count as an additional parameter. Our algorithm prefers the node that encounters the destination more frequently in selecting the next hop toward the destination. We evaluated the performance of our algorithm by simulating military operations using a DTN-dedicated simulator. Through the simulations, we show that our proposed algorithm achieve higher packet delivery ratio with similar overhead compared with PROPHET.

Keywords : PROPHET(프로핏), Probabilistic Routing(확률적 라우팅), Encounter Frequency(접촉 횟수), DTN(지연내성망), Tactical Network(전술네트워크)

### 1. 서론

네트워크중심전(NCW : Network Centric Warfare)은 전장의 제 전력요소를 네트워크로 연결함으로써, 지리적으로 분산된 제 전력요소들이 전장의 상황을 정

보수집, 처리, 저장, 전파, 활용의 절차와 수단을 통하여 지속적으로 제공받을 수 있도록 한다. 이러한 네트워크중심전 구현을 위하여 미 육군에서는 전투무선망을 기반으로 지휘통제 및 부대위치, 적 정보 등 작전 수행에 필요한 정보들을 공유할 수 있는 “전술인터넷”을 운용하고 있다. Fig. 1의 전술인터넷(TI : Tactical Internet)은 부대의 이동성, 적의 간섭, 지휘소 파괴 등이 발생하는 실제 전장 환경에서 전개되어 운용되는 시스템이다<sup>1)</sup>. 즉, 전시상황에서 지휘통제(C2 :

† 2013년 2월 15일 접수~2013년 5월 3일 게재승인

\* 아주대학교(Ajou University)

책임저자 : 이종목(twosport@ajou.ac.kr)

Command Control) 및 각종 상황인식정보(SA : Situation Awareness)를 신뢰성 있게, 지속적으로 제공할 수 있도록 하는 것으로 여단 내 부대 및 전투개체에 이르기까지 네트워크로 연결하여 정보를 제공하는 자동화체계 개념이다. 이러한 환경이 우리군의 차세대 전술망인 TICN(Tactical Information Communication Network)에서의 전술인터넷 서비스 환경과 동일하다. 전술인터넷에서 동일내용의 정보를 두 개 이상의 부대 또는 전투개체에 전달하고자 할 때 사전에 지정된 그룹을 바탕으로 사용한다. 그러나 여단급 이하 전술인터넷 환경에서 화생방 상황, 게릴라 출현, 지역기상정보, 적 전투기 출현 등의 전투원 및 부대에 필요한 정보를 지리적 특성을 고려하여 특정지역 부대 및 전투원에게 전달해야 할 경우, 현재 전술인터넷을 이용할 경우는 이동성으로 인한 통신범위를 벗어나거나 강한 전파 간섭을 받았을 때 거리가 멀어 지연시간 증가 등 네트워크 활용측면에서 효율성이 저하되는 문제점이 발생하여 접속이 차단된다<sup>[2]</sup>. 즉, 전술 인터넷에서는 지연 및 패킷 손실이 크거나 불연속적인 접속 등의 통신특성을 고려하지 않는다.

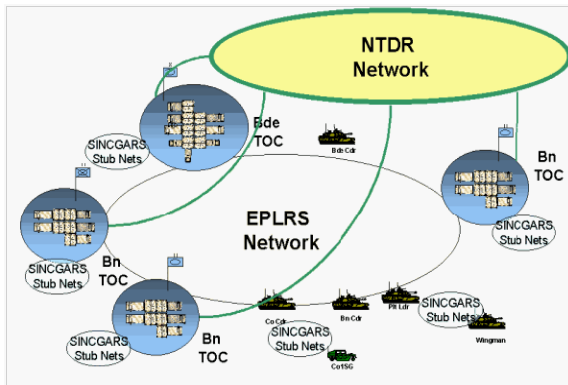


Fig. 1. Tactical Internet Architecture

본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법으로, 지연 허용 네트워크(Delay Tolerant Network)<sup>[3]</sup>의 한 종류인 PROPHET(Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity)<sup>[10]</sup> 프로토콜의 특성을 바탕으로, 노드 간에 접촉 횟수 정보를 이용한 라우팅 기법을 제안한다. 또한 시뮬레이션 과정에서 이동모델을 ‘무작위 이동 모델(random waypoint movement model)’보다 ‘지도 이동 모델(map based movement model)’을 사용함으로써 현실적인 전장 상

황의 움직임을 바탕으로 결과값을 도출하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2장에서는 기존에 제시된 DTN, Epidemic 프로토콜, PROPHET 프로토콜을 소개하며, 3장에서는 지도이동모델(map based movement model)을 바탕으로 노드 간에 접촉 횟수 정보를 이용한 라우팅 기법을 제안한다. 4장에서는 성능 분석 결과를 제시한 후 5장에서 향후 연구 방향을 제시하며 본 논문을 마무리 한다.

## 2. 관련 연구

### 가. DTN

Delay Tolerant Network(DTN)<sup>[3]</sup>의 기본적인 개념은 서로 상이한 특성, 특별히 지연 시간이 매우 다른 이종 네트워크를 연동하기 위한 네트워크 구조로서 출발하였다. 지상에서 우주 공간에 쏘아 보낸 탐사선의 행성 간 통신, 위성 통신과 같이 지연 시간이 분, 시간, 일 이상의 단위인 네트워크와 지연 시간의 단위가 초 단위 이하인 지상의 인터넷을 연결하기 위한 개념으로 등장하였다. 그러나 현재는 센서 네트워크나 차량 네트워크와 같이 빈번한 연결성 변화로 인한 종단간 경로 부재, 파워 소진으로 인한 네트워크 구성 변화, 높은 지연 시간 등의 기존의 TCP/IP 프로토콜이 적용될 수 없는 Opportunistic Network<sup>[4]</sup>을 포함하는 개념으로 확장되었다. 따라서 이렇게 확장된 개념의 Delay and Disruption Tolerant Network(DTN)은 어느 순간 종단간 연결성이 보장되지 않는 store and forward 방식의 메시지 전달을 기본으로 하는 네트워크를 이야기한다고 할 수 있다. DTN 기술을 이용하면 통신환경이 잘 구축되지 않은 산악지, 사막 등과 같은 환경에서도 통신 서비스를 제공하는 것이 가능하다. 특히 군 환경은 70% 이상이 산악으로 되어 있고, 독립 부대도 많기 때문에 DTN기술에 대한 요구가 많을 것이며, 장차 관련연구가 활발히 진행될 것으로 판단된다.

기존에 연구된 DTN 라우팅 기법은 각 노드의 이동성 유무와 라우팅을 할 때 이용할 수 있는 정보에 따라 몇 가지로 분류될 수 있다. 이동성이 없는 상황을 가정한 경우 각 노드는 움직이지 않고 각 노드들 간의 연결성이 시간에 따라 변하는 상황을 대상으로 한다. 이러한 경우 특정 시간에서의 특정 링크의 연결성 정보나 데이터 전송률 같은 정보를 알 수 있는 상황

에서의 oraclebased 라우팅 기법<sup>[5]</sup>과 그러한 정보를 알 수 없는 상황에서의 라우팅 기법<sup>[6]</sup>에 대한 연구가 이루어져 있다. 각 노드의 이동성이 있는 상황에서는 지하철처럼 이동하는 노드의 방향이나 시간, 속도 등이 예측 가능한지, 아니면 정확히 알 수는 없지만 어느 정도의 경향성을 가지고 있는지<sup>[7]</sup>, 혹은 완전하게 랜덤한 이동성을 갖는지에 따라 각 경우의 라우팅 기법들이 연구되고 있다. 이 중 Epidemic 라우팅<sup>[8]</sup>, spray & wait<sup>[9]</sup>, PROPHET<sup>[10]</sup> 등의 기법은 정해지지 않은 경로를 따라 움직이는 이동 노드들 사이의 DTN 라우팅이다.

나. Epidemic 라우팅

Epidemic 프로토콜<sup>[11]</sup>은 마치 전염병이 확산하는 것처럼 메시지가 목적지 노드에게 도달할 때까지 네트워크에 참여하는 모든 노드가 메시지를 복사해 나감으로써 전달확률을 높이고자 하는 대표적인 DTN 라우팅 프로토콜이다. Epidemic 프로토콜은 비록 무분별한 메시지 복사로 오버헤드가 크지만 전달성공률 및 메시지 도달지연시간에서 가장 좋은 성능을 보이기 때문에 많은 관련연구들에서 이 프로토콜을 함께 비교하고 있다.

네트워크 자원이 제한적인 일반적인 환경에선 무분별한 메시지 복사는 확장성 문제를 야기시킬 수 있다. DTN은 각 노드가 접촉하고 있는 짧은 시간 동안 메시지 전송이 이루어져야 하는데 참여하는 노드의 수가 많아지고 발생하는 트래픽 양이 많아질수록 이러한 무분별한 메시지 복사는 다른 메시지가 전달되는 전송 기회를 상대적으로 줄여 성능을 저하시키게 된다. 메시지는 사실 한번 목적지에 도달하면, 그 시간부터 네트워크에 참여하고 있는 모든 노드가 가지고 있는 동일한 메시지는 쓸모가 없어지고, 버퍼만 소모하게 된다. 이는 네트워크에 참여하고 있는 노드의 수가 증가할수록 그리고 네트워크의 들어가는 트래픽이 증가할수록 문제가 심각해지게 된다.

다. PROPHET

Epidemic 라우팅의 메시지 복사에 따른 오버헤드 증가 문제를 해결하기 위한 또 다른 프로토콜 중 하나인 PROPHET은 출발지에서 목적지까지의 전송 가능성을 확률적으로 계산하여, 확률이 높은 노드에게 메시지를 전송하는 개념이다. PROPHET에서 말하는 전송 확률은 어떤 노드와 어떤 노드가 서로 만날 때 발생하는

확률을 출발지에서 목적지까지 누적시킨 확률이다. 이때 노드와 노드의 만남을 접촉(encounter)이라고 한다. 예를 들어 a, b 두 노드가 과거에 자주 접촉했다면, 두 노드는 미래에 다시 만날 확률이 높을 것이다. 두 노드 사이에 접촉 확률(전송 확률)은 접촉 정보를 통해 계산할 수 있으며 다음과 같다.

$$P_{(a, b)} = P_{(a, b)old} + (1 - P_{(a, b)old}) \times P_{int} \tag{1}$$

a와 b는 노드를 나타내고, Pint 초기화 상수이며(0 < Pint ≤ 1), P(a, b)old는 최신의 접촉 정보가 업데이트 되기 전의 접촉 확률을 나타낸다. 우리는 (1)번 식을 통해 접촉 횟수가 많으면 높은 전송 확률이 나오는 것을 알 수 있다. 위와 반대로 노드 a와 노드 b의 접촉 횟수가 적다면, 낮은 전송 확률이 나올 것이며, 다음과 같이 계산할 수 있을 것이다.

$$P_{(a, b)} = P_{(a, b)old} \times \gamma^k \tag{2}$$

이때 γ는 경과(aging) 상수이며(0 < γ ≤ 1), k는 마지막으로 만나지 않은 시각을 기준으로 경과된 시간 단위를 나타낸다. 마지막 (3)번 식은 전송 확률을 추이 특성(transitive property)을 통해 계산한 것이다.

$$P_{(a, c)} = P_{(a, c)old} + (1 - P_{(a, c)old}) \times P_{(a, b)} \times P_{(b, c)} \times \beta \tag{3}$$

예를 들어 노드 a가 노드 b를 그리고 노드 b가 노드 c를 자주 만나면, 노드 a는 노드 c를 만날 가능성이 있다는 것을 추측할 수 있다. 이러한 추이 특성을 바탕으로 전송 확률을 계산할 수 있다. 이때 β는 가중치 상수이다(0 < β ≤ 1).

3. 제안 기법

가. 제안 환경

Fig. 2는 방어 작전을 실시 중인 부대를 나타낸다. 각 부대는 수집된 각 종 첩보들이 메시지 및 정·동영상 파일 형태로 지휘본부로 전송이 되어야하는 상황이다. 하지만 험준한 산악지형과 각 종 장애물로 인해 통신상태가 원활하지 않으며, 적 전파 방해까지 발생하여 주 통신망을 사용할 수 없게 되어 수집된 첩보가 전달되지 못하는 상황이 발생한다. 우리는 이러한 상

황을 극복하기 위해 DTN의 대표적인 PROPHET 프로토콜을 이용한다. 부대 주변을 경계하는 부대원과, 수색/정찰하는 부대원, 정기적 순찰을 하는 지휘관 차량, 군수 물자 보급을 위한 보급차량, 군사 우편물을 배달하는 전령 차량 등의 이동하는 노드를 이용하여 첩보 데이터를 전달하고자 한다.

이를 위한 주요 가정 사항으로 각 부대원은 정해진 책임지역 내에서 자율적인 패턴으로 이동하며, 작전 수행 간 발생하는 첩보는 지휘본부로 보고한다. 지휘소는 고정되어 있으며, 모든 부대원은 지휘소의 위치를 사전에 알고 있다. 또한 부대원은 제한된 책임지역 안에서 이동하므로 다른 부대원과 직접 접촉할 수 있는지 여부를 알 수 있다. 각 부대원은 짧은 거리(50m 내외)에서 통신을 할 수 있는 단말기를 가지고 있다.

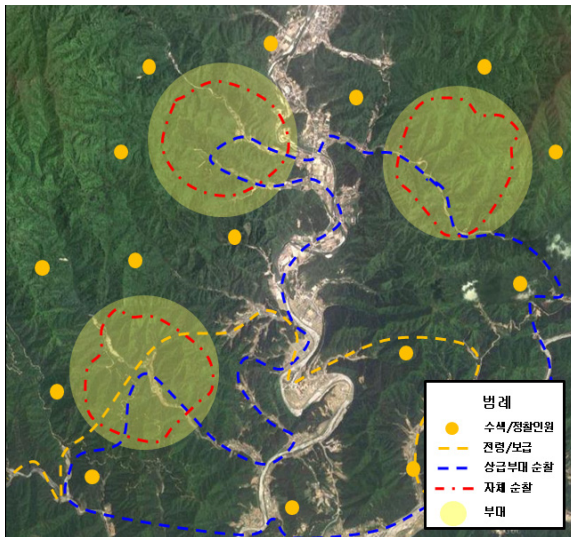


Fig. 2. An example configuration of tactical operation

나. 접촉 횟수를 고려한 확률 계산

우리는 2장에서 PROPHET 프로토콜을 구체적으로 살펴보았다. PROPHET은 출발지에서 목적지까지의 전송 가능성을 확률적으로 계산하여, 확률이 높은 노드에 메시지를 전송한다. 이때 노드와 노드의 만남을 접촉(encounter)이라고 한다. 확률 계산 시 두 노드의 접촉이 지속적으로 발생한다면, 처음 만난 확률에 이후 만난 확률을 증가시켜 확률을 업데이트할 수 있다.

Fig. 3 (a)는 노드 a와 노드 e 사이에 반복적인 이동

패턴을 나타낸 것이다. 실선은 노드 e의 이동 경로를 점선은 노드 a의 이동 경로를 나타낸다. 최초 노드 a는 10초 동안 비접촉 상태였다가 10초 동안 접촉 상태를 유지한다. 이러한 과정을 일정 속도로 반복하고 있다. Fig. 3 (b)는 노드 b와 노드 e 사이에 반복적인 이동 패턴을 나타낸 것이다. Fig. 3 (a)와 마찬가지로 실선은 노드 e의 이동 경로를 점선은 노드 a의 이동 경로를 나타낸다. 노드 b는 최초 5초 동안 비접촉 상태였다가 5초 동안 접촉 상태를 유지한다. 노드 b 또한 이러한 과정을 일정 속도를 유지하면서 반복한다. Fig. 3 (c)는 시간 축 위에 30초 동안 노드 a와 b가 노드 e와 접촉하고 비접촉한 시간을 나타낸 것이다. 실선은 접촉 기간을 점선은 비접촉 기간을 나타낸다.

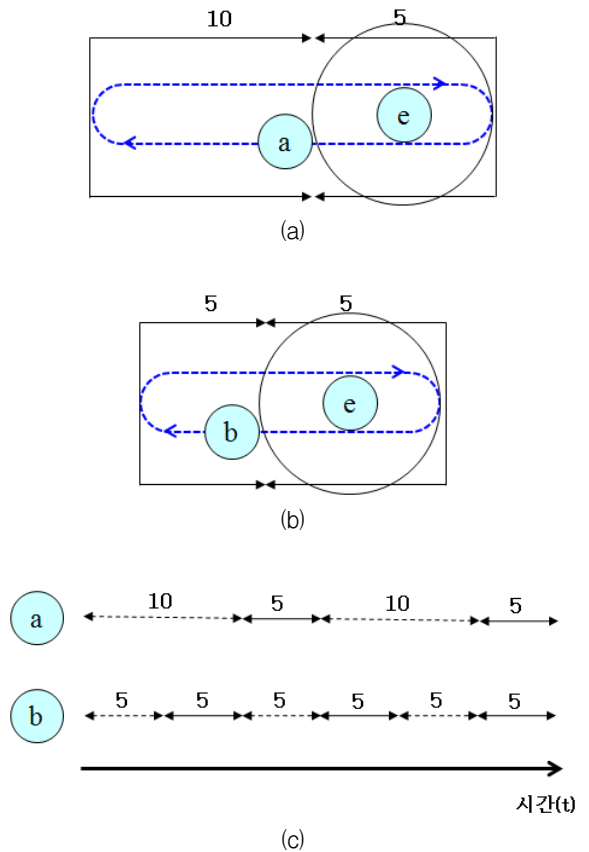


Fig. 3. An example sequence of contact events between two mobile nodes

이러한 과정에서 발생하는 접촉 횟수와 접촉 시간을 Table 1을 통해서 확인할 수 있다. Table 1에서 알

수 있듯이 노드 a에 비해 노드 b가 접촉 횟수나 접촉 시간에서도 짧은 메시지를 전송하기에 더 좋은 조건을 가지고 있다. 하지만 PROPHET 프로토콜에서는 이것을 일부 잘못 계산하고 있다.

Table 1. Contact frequency and duration

구 분	접촉 횟수	접촉 시간
노드 a	2	10
노드 b	3	15

Table 2는 Fig. 3에 나타난 노드들의 전송 확률을 PROPHET 프로토콜의 계산 방식에 의거하여 정리한 것이다. Table 2에서 알 수 있듯이 노드 b는 접촉 횟수 나 접촉 시간 측면에서 노드 a보다 더 좋은 조건을 나타내면서도 일정 시간에서 전송 확률이 오히려 더 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 노드 e가 메시지를 전달할 때 잘못된 확률을 가지고 있는 노드에게 전송을 함으로써, 메시지 전송 지연 및 오버헤드를 발생시킬 수 있다. 제안하는 기법에서는 이러한 문제를 해결하여 전송 지연을 낮추면서 전송효율을 높이려고 한다. 수식 (4)는 노드들 사이에 확률을 업데이트할 때 접촉 횟수를 추가하여 확률을 계산함으로써, PROPHET의 잘못된 전송 확률 계산을 줄였다. 이때,  $\omega$ 는 0.6으로 계산하였다. 4장에서 성능 분석 결과가 제시될 것인데, 실험을 통하여 메시지 전송률을 높이면서 처리 부담을 최소화할 수 있는 값으로  $\omega$ 를 지정하였다.

Table 2. Delivery probability estimated by PROPHET

시간 경과	0초	20초	50초	80초	110초	140초
P(e,a)	0.75	0.9032	0.9409	0.9424	0.9425	0.9425
P(e,b)	0.75	0.8311	0.8753	0.8758	0.8758	0.8758
접촉 횟수(e,a)	1	2	4	6	8	10
접촉 횟수(e,b)	1	2	5	8	11	14
접촉 시간(e,a)	5	10	20	30	40	50
접촉 시간(e,b)	5	10	25	40	55	70

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} + \left( (1 - P_{(a,b)old}) \times \omega^{e_{c(a,b)}} \right) \quad (4)$$

Table 3에서 알 수 있듯이 노드 a에 비해서 노드 b는 확률적으로 높은 값을 나타내며, 이로 인해 전송률을 높일 수 있을 뿐만 아니라 전송 지연 및 오버헤드를 낮출 수 있다. 하지만 PROPHET 프로토콜에 비해서 확률이 지속적으로 낮아지는 현상을 나타낸다. 이를 극복하기 위해서 Monitoring Interval 시간을 설정함으로써 이동 패턴을 고려한 접촉 횟수를 초기화시켜주었다.

Table 3. Probability estimated by the proposed scheme

시간경과	0초	20초	50초	80초	110초	140초
P(e,a)	0.75	0.7121	0.6259	0.4746	0.3309	0.2389
P(e,b)	0.75	0.7375	0.6295	0.4941	0.4130	0.2779
접촉 횟수(e,a)	1	2	4	6	8	10
접촉 횟수(e,b)	1	2	5	8	11	14
접촉 시간(e,a)	5	10	20	30	40	50
접촉 시간(e,b)	5	10	25	40	55	70

#### 4. 성능 분석

##### 가. 시뮬레이션 환경

본 실험은 핀란드 헬싱키 대학에서 개발한 DTN 전용 시뮬레이터인 The Opportunistic Network Environment Simulator(The ONE) version 1.3.0을 사용하여 진행하였다. 전체 면적은 4500m × 3400m로 하였으며, 그 안에 1000m × 800m 크기의 3개 부대지역을 선정한다.

Table 4. Simulation setup

구 분	내 용
전장 크기	4500m × 3400m
노드 수	인원 : 118개, 차량 : 10개
시뮬레이션 시간	10시간
이동 속도	인원 : 0~1.5m/s
	차량 : 10~50km/h
전송 범위	50m
패킷 전송 속도	250kB
노드 버퍼 크기	1, 5, 10, 15, 20, 25, 30M

전체 노드 수는 128개 노드이며, 3개 부대지역 안에 각각 32개의 노드를 위치시키고, 부대 밖에 노드 32개 노드를 위치시킨다. 이동 모델은 3개 부대지역 안에 있는 32개의 노드 중 30개는 무작위 이동 모델이며, 2개 노드는 특정 경로를 패턴을 가지고 이동하는 것으로 나타낸다. 부대 밖의 노드 32개 중 4개는 각 부대 지역을 경유하면서 특정 경로를 반복적으로 이동하며, 나머지 28개 노드는 부대 밖 지역을 무작위 이동 모델로 이동하는 것으로 나타낸다. 속도는 지도 이동 모델 노드는 10 ~ 50km/h, 무작위 이동 모델 노드는 0 ~ 1.5m/s 나타낸다.

제안된 라우팅 프로토콜과 PROPHET 프로토콜과의 성능을 비교하기 위해서 3가지 시뮬레이션 결과인 전송률, 메시지 오버헤드, 지연시간을 비교한다. 전송률은 소스 노드에서 목적지 노드까지 메시지의 전송이 완료된 패킷의 양을 말하는 것으로 전송률이 높은 프로토콜이 더 좋은 라우팅 프로토콜이다. 일반적으로 높은 전송률을 위해서는 높은 오버헤드를 일으킬 가능성이 높다. 전송률이 높으면서 오버헤드가 높아지는 것을 억제한다면, 그 라우팅 프로토콜은 메시지가 목적지까지 전달될 최적의 경우에만 메시지를 전달한 것이므로 좋은 성능의 라우팅 프로토콜이라고 할 수 있다. 마지막으로 메시지가 소스노드에서 목적지 노드까지 전달될 때 걸리는 지연시간을 비교해 볼 수 있다.

#### 나. 노드 이동 모델

DTN에 관한 대부분의 논문들은 노드의 이동모델을 ‘무작위 이동 모델(Random WayPoint mobility model)’로 시뮬레이션을 한다. 하지만 전장 환경에서는 무작위 이동모델과 같이 이동하는 경우는 많지 않다. 부대, 부대원, 차량의 이동은 책임지역 내에서 계획된 절차에 의거하여 이동한다. 따라서 본 논문에서는 전장에서 발생 가능한 이동패턴을 고려하여 인원 및 차량의 이동 경로를 ‘지도 이동 모델(map-based mobility model)’로 구현하였다.

Fig. 2에서 나타낸 것처럼 각 부대의 책임지역 안에서는 경계 및 작전을 수행하기 위해 무작위 이동모델을 통해서 이동할 수 있도록 하였으며, 이중 일부는 부대를 순찰하고 경계하기 위해 정해진 경로를 이동하도록 지도이동모델로 설정하였다. 또한 상급/인접 부대 순찰경로와 전령/보급 임무를 수행하는 부대는 차량으로 이동하는 것으로 묘사하였다. 특히 계획된 경로를 이

동하는 지도 이동 모델을 사용하였다. 마지막으로 수색부대는 부대 밖 지역을 무작위 이동모델을 통해서 이동하는 것으로 묘사하여 수색정찰 임무와 부합하도록 설정하였다. 이러한 전장 상황을 고려한 지도모델을 적용함으로써, 보다 현실적인 시뮬레이션을 가능토록 했다.

#### 다. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과를 보면 기존 PROPHET 프로토콜과 큰 차이를 보이는 부분이 전송 메시지의 수이다. 이는 Fig. 4를 통해서 확인할 수 있는데, 특히 제안한 기법에서 접촉 횟수 정보를 가중치로 적용할 때, PROPHET에 비해 최대 14.3% 전송률이 향상되었다. 특히 MI(Monitoring Interval) 시간을 1500초로 할 때가 다른 것들에 비해 더 좋은 성능을 나타내는데, 이것은 시뮬레이션 환경에서는 1500초 간격으로 누적된 접촉 횟수 정보를 갱신할 때 최고의 성능을 나타낸다고 볼 수 있다.

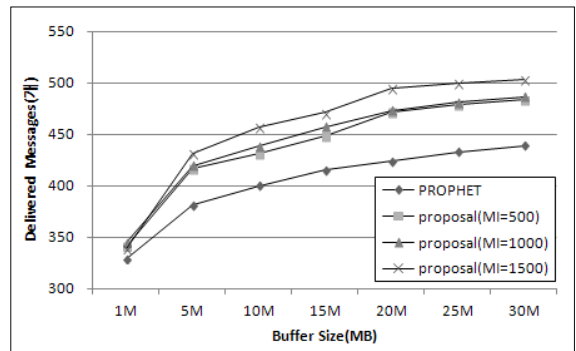


Fig. 4. Number of delivered messages vs. buffer size

Fig. 5는 Buffer Size에 따른 오버헤드 Ratio를 분석한 결과이다. 오버헤드 Ratio는 전송을 완료하지 못하고 네트워크에 남아있는 메시지의 비율을 나타낸다. 전송률이 아무리 좋다고 하더라도 너무 많은 오버헤드를 발생시키면 네트워크 전체에 무리를 주어 큰 효과를 얻을 수 없다. 제안하는 기법에서는 MI와 상관없이 모두 PROPHET보다 낮은 오버헤드를 발생시킨다. 접촉 횟수를 이용하여 메시지를 전송률을 높인 것이 남아있는 메시지 수를 줄이면서 오버헤드를 낮추었다. 이는 작은 대역폭을 가지고 있는 소부대 통신망에서 오버헤드를 최소화함으로써 네트워크 부하를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

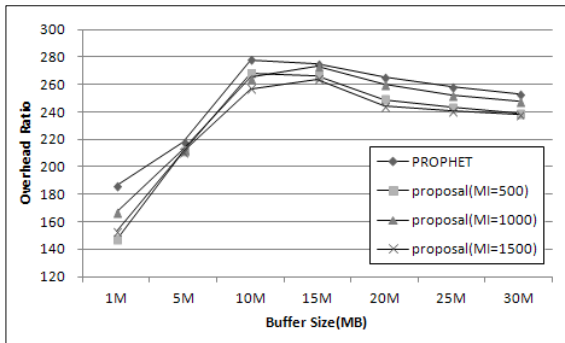


Fig. 5. Overhead ratio vs. buffer size

Fig. 6은 Buffer Size에 따른 평균 지연 시간을 분석한 것이다. 그래프를 통해서 알 수 있듯이 PROPHET과 제안하는 기법 모두 Buffer Size가 커질수록 지연이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 두 기법 모두 저장할 수 있는 공간이 많을수록 보다 많은 메시지를 저장하고 있다가 전달 확률이 높은 노드를 만나 전달할 수 있기 때문이다. 두 기법 모두 추세는 비슷하지만 본 논문에서 제안하는 기법이 기존 PROPHET보다 짧은 지연 시간을 보이는 것을 관찰할 수 있다.

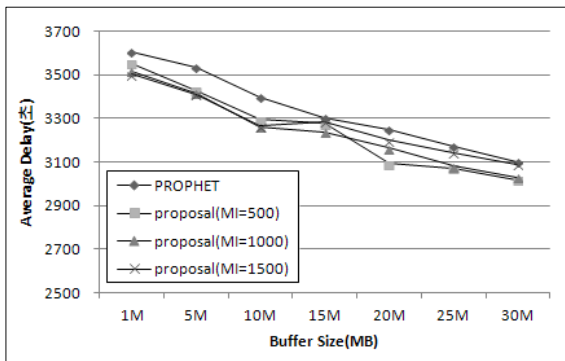


Fig. 6. Average delay vs. buffer size

Fig. 7, 8은 접촉 횟수를 계산할 때 사용되는  $\omega$  값이 성능에 미치는 영향을 관찰한 결과를 보여주고 있다. 이때 MI는 Fig. 6에서 가장 좋은 성능을 보인 1500을 기준으로 하였다.  $\omega$ 에 따라 전송된 메시지 수를 확인해 본 결과  $\omega = 0.6$ 일 때 가장 많은 메시지를 전송하였으며, 오버헤드 역시  $\omega = 0.6$ 일 때 가장 낮은 것으로 나타났다. 본 실험 결과로는 확률 계산 시에  $\omega = 0.6$ 을 적용하는 것이 가장 이상적인 효과를 얻을 수 있다고 하겠다.

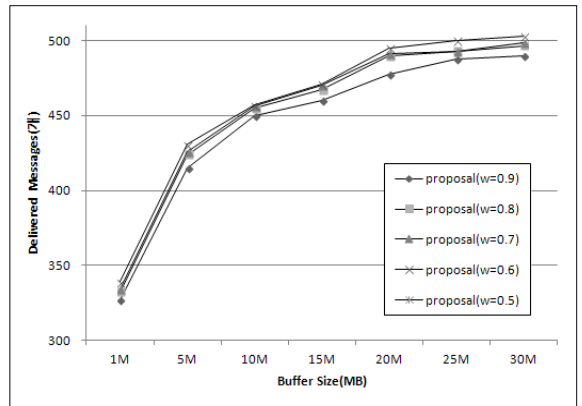


Fig. 7. Number of delivered messages vs.  $\omega$

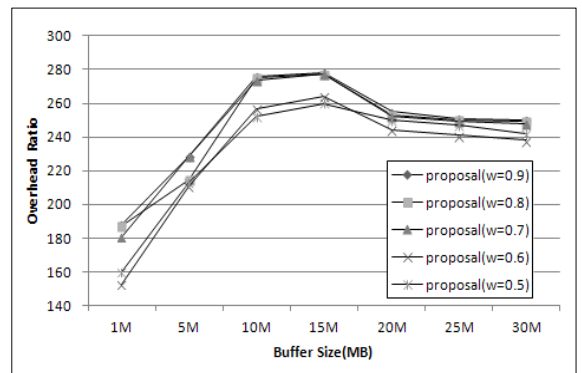


Fig. 8. Overhead ratio vs.  $\omega$

## 5. 결론

본 논문에서는 노드들이 일정 지역에서 패턴을 가지고 움직이는 특징이 있는 환경에서, 간헐적인 연결 단절이 발생하는 경우를 지원하기 위한 확률적 라우팅 기법을 제안하였다. 제안하는 라우팅 방식은 PROPHET 프로토콜의 확률 갱신 시 나타나는 오류를 접촉 횟수 정보를 이용하여 최소화하였다. 이를 통해 전송률은 최대 14.3% 향상되었고, 오버헤드는 최대 17.8% 감소하였으며, 전송지연은 최대 3.8% 낮추었다.

향후 연구 과제로 확률 갱신시 접촉이 얼마나 지속되었는지에 따른 확률적 라우팅 기법도 연구할 필요가 있다. 특히, 대용량 메시지를 전송할 경우에는 긴 접촉 시간을 가지고 있는 노드가 전송하기에 유리한 조건을 가지고 있기 때문이다.

## 후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 김영호, 엄종선, “미 육군 전술인터넷 개념과 시사점”, 주간국방논단 제1108호(06-29), 2006.
- [2] 김영안, “전장 환경에서 DTN을 이용한 정보전달 기법”, 한국통신학회논문지, Vol. 36, No. 3, 2011.
- [3] Delay Tolerant Networking Research Group, <http://www.dtnrg.org>
- [4] Luciana Pelusi, Andrea Passarella, and Marco Conti, “Opportunistic Networking : Data Forwarding in Disconnected Mobile Ad hoc Networks”, IEEE Communications Magazine Issue on “Ad hoc and Sensor Networks”, Vol. 44, No. 11, 2006.
- [5] Sushant Jain, Kevin Fall, Rabin Patra, “Routing in a Delay Tolerant Network”, SIGCOMM 2004.
- [6] Evan P. C. Jones, Lily Li, Paul A. S. Ward, “Practical Routing in Delay-Tolerant Networks”, WDTN 2005.
- [7] Tara Small et al., “Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks”, SIGCOMM’05 Workshops, 2005.
- [8] A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic Routing for Partially-connected Ad hoc Networks”, Technical Report CS-2000-06, Duke University, 2000.
- [9] Thrasyvoulos Spyropoulos, Konstantinos Psounis, Cauligi S. Raghavendra, “Spray and wait : An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks”, SIGCOMM 2005.
- [10] Lindgren A, “Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks”, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol. 7, No. 3, pp. 19~20, 2003.
- [11] Amin Vahdat, “Epidemic Routing for Partially Connected Ad hoc Networks”, Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.
- [12] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, “Spray and Wait : An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks”, ACM Workshop on Delay Tolerant Networking, pp. 252~259, 2005.
- [13] 장덕현, 심윤보, 김길수, 최낙중, 류지호, 권태경, 최양희, “이동성 정보를 이용한 DTN 네트워크 라우팅 프로토콜”, 정보과학회 정보통신, 제36권, 제2호, pp. 130~136, 2009.
- [14] 소상호, 박만규, 박세철, 이재용, 김병철, 김대영, 신민수, 장대익, 이호진, “이동 노드의 이동 패턴을 고려한 Delay Tolerant Network 라우팅 알고리즘”, 대한전자공학회 논문지, 제46권 TC편, 제4호, pp. 13~28, 2009.