

전술 네트워크의 OTM 환경에서 이동성 예측에 기반한 통신 생존성 향상 방안

준희원 노상호*, 박형준*, 정희원 정종관*, 종신회원 노병희**

Communication Survivability Enhancement Based On Mobility Prediction in Tactical Network OTM(On-The-Move)

Sang-ho Rho*, Hyung-joon Park* *Associate Members*, Jong-kwan Jung* *Regular Member*,
Byeong-hee Roh** *Lifelong Member*

요 약

전술 OTM(on-the-move) 환경에서 노드들은 일반적인 무선 네트워크처럼 고정된 통신설비가 없는 상황에서 임무를 수행하게 된다. 따라서 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화로 인한 열악한 전송 환경, 채널간섭, 통신 단절 등의 잠재적인 문제들을 극복하기 위한 문제에 직면해 있다. 본 논문에서는 전술환경에서 이동 노드들의 통신의 생존성을 향상시키기 위하여 그룹 이동성 예측 모델과 이와 연계된 위치정보 기반의 대안 경로 선택 프로토콜을 제안한다. 제안된 방식의 성능을 평가하기 위하여 OPNET 시뮬레이터를 사용하였으며, 실험결과는 제안된 알고리즘이 전술상황에서 결정적인 지휘·통제(Command and Control) 정보의 손실 없이 이동 노드 사이의 통신 생존성을 향상시켰음을 보여준다.

Key Words : OTM(On-The-Move), Survivability, Mobility model, Mobility prediction, Ad-hoc

ABSTRACT

In tactical network OTM(on-the-move) environments, tactical nodes should overcome potential disadvantages such as harsh propagation channels and interference, and communication breakdown due to frequent and rapid changes in the network topology without centralized control center such as immobile base stations as in common wireless networks. In this paper, we propose a group mobility prediction method associated with geo-based alternative path selection protocol to provide enhanced communication survivability between moving tactical nodes in OTM environments. Using OPNET simulator, the performances of the proposed scheme are evaluated. The simulation results show that the proposed method can provide robust and seamless communication paths between nodes without loss of Command and Control information, which are critical to accomplish military operations.

1. 서 론

최근의 전술 환경은 모든 요소들을 네트워크로 연결하여 각 요소들이 획득하고 생산한 정보를 공유하

고 통합하는 NCW (Network Centric Warfare) 환경으로 변하고 있다. 하지만 전장의 요소들은 고정되어 있지 않으며 특히 실제 작전을 수행하는 전투 병력은 다양한 이동패턴을 가지고 이동한다. 이러한 상황에서

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (2010-0016938)을 받아 수행되었음.

* 아주대학교 NCW공학과 (a2000rsh, Hyungjoon, jkjeong@ajou.ac.kr), ** 아주대학교 정보컴퓨터공학부 (bhroh@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-07-333, 접수일자 : 2010년 7월 28일, 최종논문접수일자 : 2010년 10월 18일

OTM에 대한 준비는 전술 네트워크의 필수적인 요소가 되었다. OTM 환경에서 각 노드들은 다양한 속도와 이동패턴으로 움직이기 때문에 네트워크 토폴로지 변화가 매우 심한 것이 특징이다. 이러한 환경에 적응하기 위해 C2V (Command and Control Vehicle) 와 위성통신 등의 방식이 연구되고 있으나^{1,2} 전술 환경에서 모든 이동 노드를 C2V 혹은 위성통신을 통해 지원하는 것은 매우 어려운 일이다.

OTM 환경에서 성공적인 군사작전을 달성하기 위하여 이동 노드들은 작전 지역 내에서 이동 속도, 방향, 좌표 등의 위치정보를 서로 공유하는 것이 요구된다³. 위치정보의 공유와 함께, 최근 네트워크 연결성을 향상시키기 위한 이동성 예측 알고리즘이 연구되고 있다⁴. 이러한 연구들의 대부분은 이동 노드의 이동 궤적 좌표를 기준으로 하고 있으며, 노드의 다음 시간에서 이동 상태(위치, 속도, 방향)를 노드의 이동 궤적을 기반으로 예측한다⁵.

이동성 모델에는 먼저 개별 이동성을 모델링한 Random Walk Mobility, Random Way Point, Random Direction Mobility⁴⁻⁶ 등이 있다. 하지만 이 모델들은 각 노드들의 개별적인 이동만을 고려하여 연구되었으며 실제 환경에는 적용하기 어려운 단점이 있다. 전술 네트워크에서 이동 노드들은 같은 임무를 달성하기 위해 그룹 단위로 이동하는 것이 일반적이다. 따라서 전술 네트워크에 적용하기 위해서는 개별적인 이동 기반의 모델보다는 Reference Point Group Model⁷, Reference Velocity Group Model⁸, Diamond Group Mobility⁹와 같은 그룹 단위의 이동성 모델이 더욱 효과적이다. 하지만 이러한 그룹 이동성 모델은 장애물이나 지형지물과 같은 부분은 고려하지 않았다. 실제 전장에서는 다양한 형태의 장애물이 나타나며, 이로 인하여 통신의 장애가 빈번하게 발생하게 된다. 도시 지역에서 장애물과 도로를 고려한 오프라인 기반의 이동성 모델이 연구되고 있지만¹⁰, 이 모델에서 노드들은 미리 지정된 경로를 통해 이동하기 때문에 랜덤한 이동 패턴을 표현하는데 제한이 있다. 따라서 모든 노드들이 자신의 임무에 따라 이동하는 전술 환경에서 적용하기에는 적절하지 않다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 그룹 이동성 예측 모델과 이를 바탕으로 한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 그룹 이동성 예측 모델은 전술 OTM 환경에 적용하기 적합하게 전술 노드들의 이동패턴을 고려하였으며 특히 우발상황이 발생 시에도 적용할 수 있도록 설계되었다. 또한 제안된 모델을 바탕으로 한 라우팅 프로토콜은 이동 노드가 장애물을

만나 통신이 단절되었을 때 네트워크의 안정되고 끊임 없는 연결성을 제공할 수 있다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 그룹 이동성 모델과 이동성 예측에 관련된 연구를 소개하며 3장에서는 기존의 이동성 모델을 확장한 AVGMP (Average Velocity Group Mobility Prediction) 모델을 소개하며, 제안된 이동성 모델의 적절성을 보여주기 위해 이를 적용한 GAPS (Geo-based Alternative Path selection) 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 기존의 연구된 라우팅 프로토콜과의 비교를 통해 제안된 방식의 성능과 효율성을 검증하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1 RPGM 모델

RPGM⁷은 그룹 이동을 설명하는 대표적인 모델 중 하나이다. 이 모델은 이론적으로 중심 노드가 존재하며 그룹 내의 다른 노드들은 자신의 이동벡터와 중심 노드의 이동벡터를 계산한 경로를 따라가게 된다. RPGM 모델에서는 시간이 t 일 때 j 번째 그룹의 i 번째 이동 노드는 아래와 같이 표현할 수 있다. 즉 참조 위치를 $Y_j(t)$ 라 하고, 지역 변위를 $Z_{j,t}(t)$ 라 하면 노드의 위치는 식(1)과 같다.

$$X_{j,i}(t) = Y_{j,i}(t) + Z_{j,i}(t) \quad (1)$$

RPGM 모델은 실험 목적을 위한 ad-hoc 네트워크에서 다양한 토폴로지를 생성할 수 있는 장점이 있다. 미국의 DARPA에서는 현재 군 작전 및 특수 재난 발생 시 ad-hoc 네트워크를 구성하고 특수 목적의 그룹의 이동성을 지원하기 위해서 RPGM을 기반으로 한 이동성 지원 모델을 크게 3가지로 분류하여 제안하고 있다^{11,12}. 제안된 그룹 이동성 지원 모델은 In-Place Mobility Model, Overlay Mobility Model, Convention Mobility Model들이다.

RPGM 모델은 그룹 이동성을 다루기 위한 모델 중에서 가장 포괄적이고 종합적인 모델이다. 이 모델은 전체 이동성 모델 중에서 이동 노드 그룹의 이동성과 그룹 내의 각 노드의 이동성 모두를 다루고 있는 것이 특징이다.

하지만 RPGM 모델은 2가지 단점이 있다⁸. 첫째, 그룹에 속해있는 모든 노드들은 그룹과 그룹의 노드의 이동성에 대해서 매우 완전한 정보(속도, 방향, 좌표 등)를 알아야 하는 어려움이 있다. 실제로 전술 네

트위크를 포함한 ad-hoc 환경에서 모든 이동 노드들이 주변의 노드들에 대한 정보를 실시간으로 공유하는 것은 매우 어렵다. 둘째, 이 모델은 물리적인 좌표를 사용하기 때문에 순간적인 네트워크 토폴로지의 변화를 예측하기가 어렵다. RPGM 모델의 이러한 단점으로 인하여 실제 전송 환경에 적용하는데 어려움이 있다.

2.2 RVGM 모델

RVGM^[8]은 RPGM을 기반으로 참조지점이 아닌 노드의 속도(벡터값)를 이용하여 그룹 전체의 이동성을 예측한다. 이 모델에서 각각의 이동 노드는 벡터값 $V=(V_x, V_y)^T$ 을 가진다. 여기에서 V_x 와 V_y 는 T 시간의 x축과 y축의 방향을 가진 벡터의 성분을 나타낸다. 각 이동성 그룹은 그룹마다 특징적인 평균 그룹 벡터, $W_j(t)$ 를 가지며, 그룹에 속해 있는 멤버 노드는 각각 지역 벡터 편차 $U_{j,i}(t)$ 를 가진다. 따라서 j번째 그룹에 있는 i노드의 관계는 평균 그룹 벡터와 지역 벡터 편차의 합으로 표현된다.

이를 RPGM의 Node location으로 표현하면 아래의 식(2)와 같다.

$$V_{j,i}(t) = \frac{dX_{j,i}(t)}{dt} = \frac{dY_j(t)}{dt} + \frac{dZ_{j,i}(t)}{dt} = W_{j,i}(t) + U_{j,i}(t) \tag{2}$$

RVGM 모델은 속도의 벡터와 방향각을 기본으로 하기 때문에 RPGM의 단점을 극복하여 잦은 네트워크의 토폴로지 변화에 적용할 수가 있다. 그러나 RVGM은 지형적인 상황을 고려하지 않았기 때문에 전장 환경에서 장애물이 발생하는 실제 전송환경에 적용하기는 어렵다.

2.3 이동성 예측 (Mobility Prediction) 기법

다음의 이동성 예측 기법^[5]을 통해 이동 노드의 다음 상태는 노드의 이동 패턴과 GPS (Global Position System)를 사용한 시간 동기화를 기반으로 예측할 수 있다. 영역 내의 모든 노드는 현재 시간과 위치에서 자신의 전파범위 내의 모든 노드의 속도와 이동방향을 알고 있으며 이렇게 생산된 각각의 위치 정보의 실시간 공유를 통하여 이동성 예측을 하게 된다. 이동성 예측을 통해 이동간 QoS (Quality of Service) 레벨을 유지한다.

$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 는 노드 i와 노드 j의 위치 좌표를 의미하고 θ_i, θ_j 는 노드 i와 노드 j의 이동방향을 v_i, v_j

는 노드 i 와 노드 j의 이동속도를 의미한다. 전송범위 (Transmission range) r내의 두 노드 i와 j의 통신이 유지되는 총 시간 D_i 를 아래의 식(3)으로 계산할 수 있다.

$$D_i = \frac{-(ab+cd) + \sqrt{(a^2+c^2)r^2 - (ad-bc)^2}}{a^2+c^2} \tag{3}$$

$$a = v_i \cos \theta_i - v_j \cos \theta_j$$

$$b = x_i - x_j$$

$$c = v_i \sin \theta_i - v_j \sin \theta_j$$

$$d = y_i - y_j$$

식(3)을 통해 노드 i와 j의 속도가 동일하고 이동방향(각)이 동일하면 두 노드 사이의 링크가 유지되는 시간이 무한하다는 것을 알 수 있다.

하지만 이러한 이동성 예측 방식은 랜덤하지 않는 이동성을 다루고 있으며 지형적인 문제로 인한 통신의 두절을 예상할 수 없다. 그리고 다음 상태의 주변 노드와의 거리를 측정하는데 있어서 예측변수가 정확해야 하는 어려움을 가지고 있다^[13].

III. 제안하는 알고리즘

이미 언급했듯이 기존의 그룹 이동성 모델은 OTM 환경에서 노드의 이동에 따른 네트워크 토폴로지 변화를 예측하는데 한계가 있다. 따라서 본 장에서는 이동성 예측과 RPGM, RVGM 모델을 확장한 평균 속도를 이용한 그룹 이동성 예측 모델(AVGMP)을 제안한다. 또한 예측된 결과를 이용하여, 장애물 혹은 지형적인 문제로 통신의 단절을 극복하기 위한 위치정보 기반의 대안 경로 선택 프로토콜(GAPS)을 제안한다. 이는 통신 단절 전에 위치적으로 가장 근접한 중간 노드를 선택하여 대체 경로를 구성하는 특성을 가지고 있다.

3.1 중심 노드의 평균 속도를 활용한 그룹 이동성 예측 모델 (AVGMP)

전장에서 작전을 수행하는 전투 병력은 일반적으로 그룹 (군의 규모별 제대를 의미) 단위로 이동하며 각 그룹은 자신의 중심 노드라고 하는 그룹의 지휘관을 가지고 있다. 그룹에 속해있는 멤버 노드는 임무 달성을 위해 그룹의 지휘관을 중심으로 이동하게된다. 따라서 전체 그룹의 멤버 노드의 이동성을 예측하기 위해서는 그룹 지휘관(즉 그룹의 중심 노드)의 이동패턴을 분석하면 될 것이다.

제안된 AVGMP (Average Velocity Group Mobility Prediction) 모델에서는 모든 노드는 GPS 를 장착하고 있으며 ‘1홉 내의 모든 주변 노드에게 자신의 위치 정보를 전송한다’는 것과 ‘중심 노드의 위치정보를 다른 노드들이 알고 있으며, 다른 노드의 위치정보를 중심 노드는 알고 있다’고 가정한다.

제안하는 이동성 모델을 설명하기 위해서, Δt 의 간격은 고정되어 있으며, Δt 는 이동성 예측을 위한 시간 간격으로 설명한다. n 번째 Δt 의 지속기간의 시작시간을 t_n 이라 한다면, $t_n = n \cdot \Delta t$ 이라 표현할 수 있다. 그리고 $C_n^{(j,i)} = (x_n^{(j,i)}, y_n^{(j,i)})$ 을 t_n 에서 j 그룹의 i 노드의 좌표라고 하며, $V_n^{(j,i)}$ 와 $\theta_n^{(j,i)}$ 을 $[t_{n-1}, t_n)$ 사이의 속도와 방향(각) 이라 한다.

다음의 그림 1을 통해 제안된 알고리즘을 설계하기 위해 사용한 기본 개념 구상을 설명한다.

그룹 벡터의 속도와 이동방향을 계산하기 위해 다음과 같이 식(4), (5)로 표현할 수 있다.

$$v_n^{(j,i)} = \frac{\sqrt{(x_n^{(j,i)} - x_{n-1}^{(j,i)})^2 + (y_n^{(j,i)} - y_{n-1}^{(j,i)})^2}}{\Delta t} \quad (4)$$

$$\theta_n^{(j,i)} = \cos^{-1} \frac{(x_n - x_{n-1})}{\sqrt{(x_n^{(j,i)} - x_{n-1}^{(j,i)})^2 + (y_n^{(j,i)} - y_{n-1}^{(j,i)})^2}} \quad (5)$$

먼저 시간 t_n 에서 j 번째 그룹의 그룹 이동 벡터값을 G_n^j 이라고 한다. 상대적으로 시간 t_n 에서 j 번째 그룹의 중심 노드의 속도와 이동방향을 $v_n^{(j,c)}$ 와 $\theta_n^{(j,c)}$ 이라 하면 $G_n^j = (v_n^{(j,c)}, \theta_n^{(j,c)})$ 으로 나타낼 수 있다. 따라서 현재 시간인 t_n 이후의 t_{n+p} 시간의 중심 노드의 이동성 벡터는 t_n 시간 이전의 $v_n^{(j,c)}$ 와 $\theta_n^{(j,c)}$ 의 평균값을 이용하여 모델링할 수 있다. 시간 t_n 전의 j 그룹의 이동성 벡터를 $G_{n-2}^j, G_{n-1}^j \dots G_{n-p+1}^j$ 으로 주어진다하면,

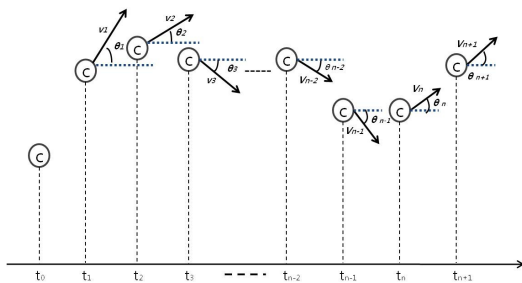


그림 1. 중심 노드의 과거 벡터를 이용한 이동성 모델

우리는 다음 시간에서의 그룹 이동성 벡터를 $\hat{G}_n^j = (\hat{v}_n^j, \hat{\theta}_n^j)$ 으로 나타낼 수 있으며 다음의 가중치 적용 기반의 식(6), (7)을 통하여 계산할 수 있다.

이 가중치 w 는 이동성 예측의 결과 값을 보정해 주기 위한 수치로 속도와 방향에 각각 적용하게 되며, n, m 의 통해 그 값을 조정할 수 있다.

$$\hat{v}_n^j = \frac{\sum_{m=0}^{p-1} w_{n-m} \cdot v_{n-m}^{(j,c)}}{\sum_{n=0}^{p-1} w_{n-m}} \quad (6)$$

$$\hat{\theta}_n^j = \frac{\sum_{m=0}^{p-1} w_{n-m} \cdot \theta_{n-m}^{(j,c)}}{\sum_{n=0}^{p-1} w_{n-m}} \quad (7)$$

현재 시간이 t_n 이며 시간 t_{n+T} 에서 j 그룹의 노드 i 의 위치를 구한다면, 시간 $T \cdot \Delta t$ 동안 \hat{v}_n^j 와 $\hat{\theta}_n^j$ 을 이용하여 노드가 현재 위치로부터 이동한 것으로 생각하여 계산할 수 있다. 결론적으로, 시간 t_n 에서 주어진 현재 좌표를 $C_n^{(j,i)} = (x_n^{(j,i)}, y_n^{(j,i)})$ 이라 하고 시간 t_n 에서 j 그룹의 i 노드의 t_{n+T} 시간에서 예측된 좌표를 $\hat{C}_n^{(j,i)} = (\hat{x}_n^{(j,i)}, \hat{y}_n^{(j,i)})$ 이라 한다면 각각의 x, y 좌표는 아래의 식(8), (9)로 계산할 수 있다.

$$\hat{x}_{n+T}^{(j,i)} = x_n^{(j,i)} + T \cdot \cos \hat{\theta}_n^j \quad (8)$$

$$\hat{y}_{n+T}^{(j,i)} = y_n^{(j,i)} + T \cdot \sin \hat{\theta}_n^j \quad (9)$$

또한 시간 t_n 에서 통신을 하고 있는, $C_n^{(j,i)}$ 와 $C_n^{(k,l)}$ 의 좌표를 가진 2개의 노드를 각각 (j,i) 와 (k,l) 로 나타낼 수 있다. 그리고 시간 t_{n+T} 에서 두 노드 사이의 거리는 아래의 식(10)으로 계산할 수 있다.

$$\hat{D}_{n+T}^{(j,i),(k,l)} = \sqrt{(\hat{x}_{n+T}^{(j,i)} - \hat{x}_{n+T}^{(k,l)})^2 + (\hat{y}_{n+T}^{(j,i)} - \hat{y}_{n+T}^{(k,l)})^2} \quad (10)$$

식 (10)을 통해 계산된 거리를 이용한다면 두 이동 노드 사이의 총 통신 유지시간을 예측할 수 있을 것이다. 만약 장애물이 없는 환경에서 이동 노드 사이의 통신 유지시간을 C_T 라 한다면 이는 다음의 식 (11)로 나타낼 수 있다. 이때 변수 r 는 두 노드의 전송범위를 의미한다.

$$C_T = \operatorname{argmax}_{T > n} [\hat{D}_{n+T}^{(j,i)(k,l)} < r] \quad (11)$$

추가적으로, 식(11)에서 두 노드가 이동하는 환경에 장애물이 존재하는 경우를 고려할 수 있다. 먼저 $D_n^{(j,i)}$ 를 시간 t_n 에서 장애물을 만나는 노드 (j,i) 의 현재 좌표로 정의한다. 이런 경우, 두 이동 노드의 총 통신 유지시간은 장애물을 만나기 직전의 시간으로 계산할 수 있을 것이다. 이는 아래의 식 (12)로 나타낼 수 있다.

$$C_T = \min [\operatorname{argmax}_{T > n} (x_{n+T}^{(j,i)} < D_n^{(j,i)}), \operatorname{argmax}_{T > n} (x_{n+T}^{(k,l)} < D_n^{(k,l)})] \quad (12)$$

제안된 그룹 이동성 모델은 기존의 이동성 모델과는 달리 장애물과 직면하는 우발상황에도 적용할 수 있기 때문에 전송 네트워크를 설계하는데 더욱 효과적이다.

3.2 위치정보 기반의 대체 경로 알고리즘 (GAPS)

GAPS (Geo-based Alternative Path Selection) 알고리즘은 앞에서 소개한 AVGMP 모델의 적용 가능성과 성능을 보여주기 위해 설계된 라우팅 프로토콜이며, 위치정보를 기반으로 네트워크에서 링크 단절을 예측하여 대체 경로를 설정 및 선택하여 통신의 생존성을 향상시켰다. 이 GAPS 프로토콜은 전송 네트워크의 ad-hoc 환경에 적합하게 설계되었으며 AVGMP 모델을 적용하여 기존의 AODV를 확장한 라우팅 알고리즘이다.

AODV는 ad-hoc 네트워크에서 가장 대표적으로 적용되는 on-demand 기반의 라우팅 알고리즘이며 일반적으로 가장 우수한 성능을 보이고 있다고 평가받고 있다¹⁴⁾. 하지만 이 라우팅 알고리즘은 통신 단절이 발생했을 때 경로 재탐색을 위해 많은 양의 컨트롤 패킷을 브로드 캐스팅하기 때문에 전체 네트워크 혼잡과 같은 현상이 발생하고 링크 단절이 발생 시 실시하는 링크 재구성 과정이 길어 경로 구성이 완료되는 시간이 길다는 단점이 있다.

GAPS는 AVGMP 모델을 적용하여 이런 AODV의 단점을 극복한다. 일반적으로 ad-hoc 네트워크에서는 멀티 홉을 통해 출발 노드에서 목적지 노드까지 경로를 구성하여 정보를 전달한다. 이때 AODV가 최소 홉수(Number of Hops)를 기준으로 다음 노드를 선택하는 반면에 제안된 프로토콜은 최소 거리를 기준으로 다음 노드를 선택한다. 이 방식은 통신이 단절되었을 때 최대한 빠른 시간 내에 경로를 재구성하여 정보를 재송신하는 것을 목표로 하고 있다.

먼저 각 노드는 자신의 1홉 내의 노드를 목록화하여 자신의 라우팅 테이블에 저장한다. 이러한 목록을 지원자 노드 리스트 (CNL : Candidate Nodes List)라 한다. 정보를 보내는 노드는 GPS로 측정된 위치정보를 통해 목적지 노드의 좌표를 알고 있다. 따라서 지원자 노드 중 다음 노드를 선택할 시 거리와 목적지까지의 방향을 고려하여 다음 노드를 선택한다. 송신 노드가 경로 재구성을 위해 RREQ 메시지에 자신의 위치정보를 포함하여 보내면 1홉 내의 이웃 노드는 거리를 계산하여 가장 가까운데 위치한 노드가 선택되는 것이다.

그림 2는 GAPS에서 지원자 노드 리스트를 목록화하고 이 지원자 노드 중 다음 노드를 선택하는 과정을 보여준다. 두 개의 점선으로 된 원은 각각의 그룹을 나타내며, 점선으로 된 원 내부의 실선의 원은 한 노드로부터의 전송 범위 즉 1홉의 영역을 나타낸다. 즉 4개의 실선으로 된 원은 노드 C1, C2, a, j의 1홉 내 영역을 나타내며, 이 영역내의 노드를 중심 노드에 대한 지원자 노드 (Candidate Node)라 한다.

그림 2에서 보여주듯이 그룹 A에서 출발지 노드 C1은 1홉 내의 노드 a, b, d를 목록화하여 이를 자신의 라우팅 테이블에 저장한다. 이와 같은 과정으로 그룹 B에서 목적지 노드 C2는 1홉 내의 노드 j, k, m을 목록화하여 자신의 라우팅 테이블에 저장한다. C1은 경로 구성을 위한 다음 노드 선택 과정에서 목적지 노드 C2의 위치와 자신의 CNL을 고려하게 된다. 결과적으로 다른 그룹사이의 C1은 C2와의 통신을 위해 그림에서 보여주듯이 C1-a-e-j-C2의 경로를 구성한다.

그림 3의 플로우차트는 제안된 GAPS 알고리즘을 보여준다. 먼저 윗부분은 링크 단절이 발생하기 전 GAPS 알고리즘의 진행 과정을 나타냈으며, 아랫부분은 링크 단절이 발생한 경우 GAPS 알고리즘의 진행 과정을 나타내었다.

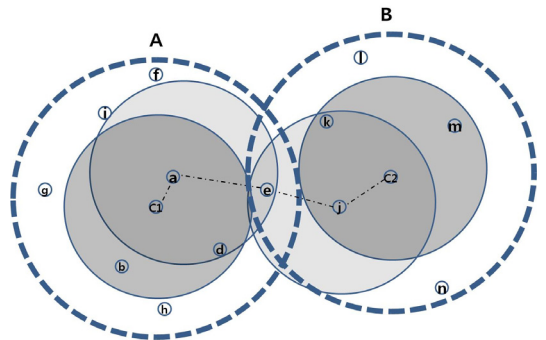


그림 2. 다음 노드 선택 과정

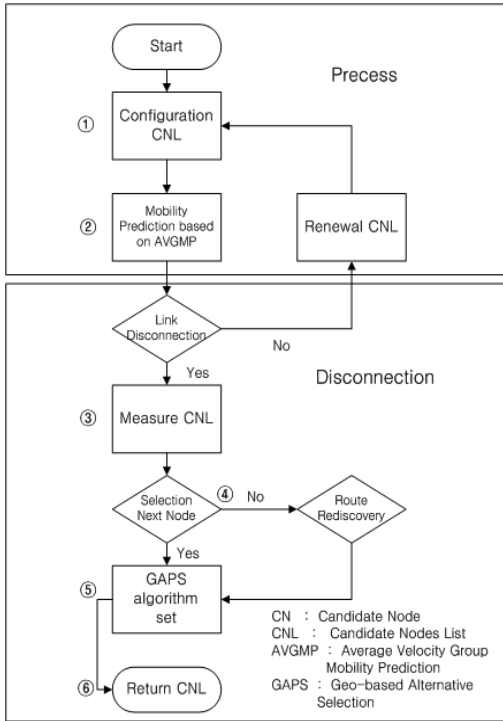


그림 3. GAPS 알고리즘

- ① 각 노드는 헬로 메시지에 위치정보를 포함하여 주기적으로 브로드 캐스팅한다. 이렇게 수신된 위치 정보를 바탕으로 1홉 내의 이웃 노드를 목록화한 지원자 리스트를 생성하고 이 리스트를 자신의 라우팅 테이블에 저장한다. 이때, 1홉 내의 이웃 노드를 지원자 노드라 부른다.
- ② 다음 이동 상태를 예측하기 위해서, 노드의 이동 경로와 링크 유지 상태를 AVGMP 모델을 적용하여 주기적으로 링크 유지 상태를 점검한다. 링크가 정상적으로 유지가 된다면 계속해서 ①번 과정을 반복하게 되며, 링크의 단절이 예상되면 다음 과정으로 넘어간다.
- ③ 링크 단절이 예측되면, 출발지 노드는 자신의 라우팅 테이블에 저장되어 있는 지원자 노드 목록에서 목적지 노드까지의 방향을 고려하여 최소 거리에 위치한 노드를 다음 노드를 선택하고, 다음 노드는 동일한 과정을 통해 목적지 노드까지 대안 경로를 구성한다.
- ④ 만약 지원자 노드 목록에 선택해야 할 적절한 지원자 노드가 없으면, 다음 노드를 찾기 위해 경로 재탐색 과정을 시작한다. 이때 컨트롤 패킷의 오버헤드를 최소화하기 위하여 일정 임계치(T)를 통해 경

로 재탐색 메시지의 전송을 제한하게 된다. 임계치는 가중치 값에 따라 적절하게 적용할 수 있다.

- ⑤ 주경로에 링크 단절이 발생하면, ③과정을 통해 미리 설정되어 있는 보조 경로를 통해 통신을 시작한다.
- ⑥ 일련의 과정이 끝나고 대안 경로를 통해 통신이 유지되면 각 노드는 다시 지원자 노드 목록을 최신화 하며 정상적인 통신을 진행하게 된다.

그림 4는 이동성 예측을 통해서 통신의 단절이 예상이 되면 미리 우회경로를 구성하여 통신 단절에 의한 정보손실을 대비하는 모습을 표현하였다.

그룹 A에는 노드 S, b, c, g 가 속해 있으며, 그룹 B에는 노드 D, a, e, f 가 속해서 이동하고 있다. 각 그룹 A와 B는 다른 방향으로 이동하고 있기 때문에 t_3 시간에 링크가 단절될 것으로 예상된다. t_0 일 때 출발지 노드 S 와 목적지 노드 D 는 정상적으로 통신하고 있다. 또한 각각의 지원자 노드 목록을 작업하여 자신의 라우팅 테이블에 저장한다. t_1 에서 출발지 노드 S 는 이동성 예측을 통해 통신의 단절을 예상한다. 그리고 자신의 지원자 노드 목록에 있는 노드 중 목적지 노드 D 와 가장 원활하게 통신을 할 수 있는 노드 a 를 선택하여 경로를 구성한다. 즉 t_1 에서는 $S \rightarrow D$, 와 $S \rightarrow a \rightarrow D$ 의 2가지 경로가 구성된다. 그리고 t_2 에서 예측한 바와 같이 $S \rightarrow D$ 경로가 끊어지면서 자동으로 $S \rightarrow a \rightarrow D$ 경로를 통해 패킷들은 이동하게 된다.

그림 5는 제안된 알고리즘에서 적절한 지원자 노드를 선택하지 못해 경로 재탐색 과정에서의 RREQ와

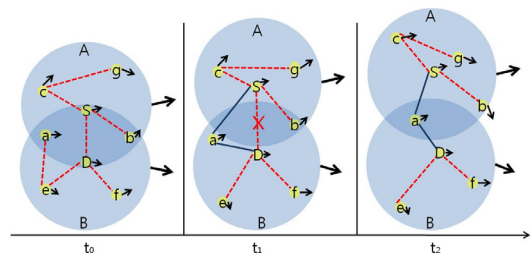


그림 4. 대안 경로 선택과정

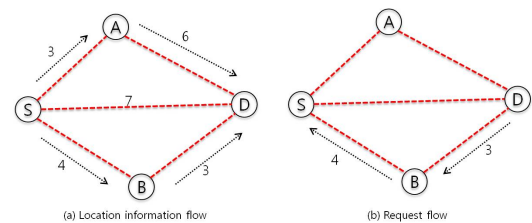


그림 5. 거리 계산을 통한 경로 선택과정

RREP의 적용법을 나타낸다.

출발지 노드는 RREQ 메시지를 자신의 위치정보를 포함하여 중간 노드를 통해 전파한다. 목적지 노드가 RREQ 메시지를 수신 받으면 위치정보를 이용하여 송신 노드와 목적지 노드와의 거리를 계산한다. 이에 따라 최소 거리가 선정된다. 그림 5에서 숫자는 두 노드 사이의 거리의 값을 의미한다.

IV. 실험 및 평가

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 주요 목적은 이동성 예측을 통해 이동 노드 사이에 링크 단절이 예상될 경우 대안 경로를 설정, 패킷 재전송 시간을 감소를 통해 정보의 손실을 줄여 통신의 생존성을 향상시키는 것이다. 제안된 프로토콜의 성능 평가를 위해 AODV와 비교하였으며 시뮬레이션을 위해 OPNET 14.5 시뮬레이터를 사용하였다.

실험을 위한 세부적인 시나리오는 다음과 같다. 임의의 2개의 그룹이 이동하고 있다. 각 그룹은 각각 12명의 전투원으로 구성되어 있으며, 각 그룹의 리더는 지속적으로 통신을 하고 있다. 모든 전투원은 동일하게 차량을 이용하여 30km/h로 이동하고 있으며, 이들은 100s 후에 장애물과 직면하여 통신의 장애를 겪게 된다. 이때 통신 단절이 발생하며 이 현상은 전투원이 장애물을 벗어나는 시간인 200s에 사라진다. 노드의 전송 범위는 0.3 km이고 채널 용량은 11Mb/s이다. 기타 세부적인 값은 표1과 같다. 본 실험에서 주요 평가 요소는 처리율(Throughput), 지연(delay), 패킷 재전송 시도 횟수(Number of retransmission time) 이다. 처리율과 지연은 라우팅 프로토콜의 성능 평가를 위한 대표적인 지표이며, 패킷 재전송 시도 횟수는 제안하는 알고리즘의 주요 특성인 재전송 메커니즘의 성능을 평가하기 위해 선정하였다.

본 실험에서는 제안하는 알고리즘의 성능평가를 위해 노드의 숫자와 이동속도를 고정시켜 상대적으로

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Item	Value
Space	10km×10km
Number of Nodes	2×12 node per Group
Velocity	30km
Simulation Time	300s
Mac Type	IEEE 802.11b
Traffic Type	VoIP(G.729)

제한적인 상황에서 실험이 진행되었다. 또한 실험 시간은 300s로 비교적 짧게 설정하였는데 이는GAPS의 주요 특성인 패킷 재전송 시간(횟수)을 측정하기 위해서이다. 실험 목적상 목적지가 있는 이동상황의 노드에 인위적으로 장애물 직면 상황을 부여하여 통신 단절이 발생하는 시간동안에 AODV와 패킷 재전송 시간을 비교하였다.

그림 6은 AODV와 처리율을 비교하였다. 초기에는 AODV와 차이가 없지만 장애물을 만난 100s 부터 성능의 차이를 보이기 시작한다. AODV는 장애물에 의해 통신의 단절이 시작되는 시점부터 경로 재탐색 과정에서 불필요한 컨트롤 패킷이 발생하여 처리율이 계속해서 감소되는 반면에 GAPS 알고리즘은 통신의 단절이 발생하면 사전 지정된 경로를 통해 통신을 조기에 복구하여 상대적으로 높은 처리율의 나타낸다.

그림 7은 AODV와 지연시간을 비교하였다. AODV와 제안된 GAPS 모두 장애물을 만난 시점부터 지연이 발생하기 시작한다. 하지만 AODV가 장애물을 거치는 시간 내내 지연 현상을 일으키며 최대 9s의 지연을 보이는 반면에 GAPS는 장애물을 만난 초기에 최대 2.7s의 지연을 보이며 평균적으로 안정되어 있음을 실험결과로 알 수 있다.

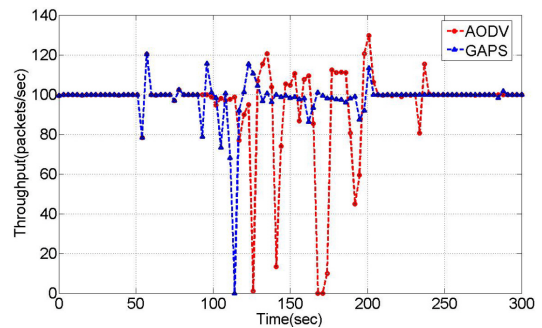


그림 6. Throughput

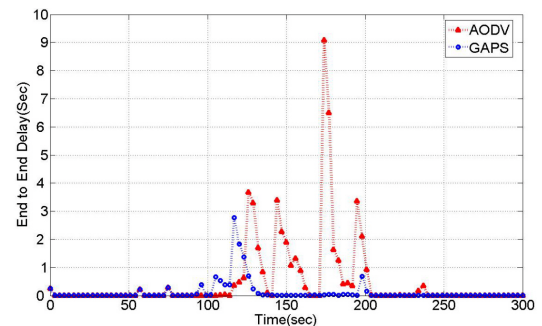


그림 7. End-to-End Delay

그림 8은 AODV와 패킷 재전송 시도 횟수(Number of retransmission time)를 비교하였다. 이는 패킷 전송 경로가 단절되었을 때 얼마나 많은 재전송 시도를 통해 경로가 복구되었는가를 보여준다. 일반적으로 재전송 시도 횟수가 많을수록 네트워크에 불필요한 패킷이 전송 되어 전체적인 성능을 하락시킨다고 볼 수 있다. 그림 8의 결과에서 보듯이 링크 단절이 시작된 100s 부터 GAPS와 AODV 모두 경로 복구를 위해 패킷 재전송을 시도하고 있으며 150s를 지나며 GAPS가 점차 횟수의 증가폭을 줄이는 반면에 AODV는 링크 단절이 끝나는 시점인 200s 까지 계속해서 재전송 시도를 하는 것을 알 수 있다. 이를 통해 제안된 프로토콜이 AODV에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다.

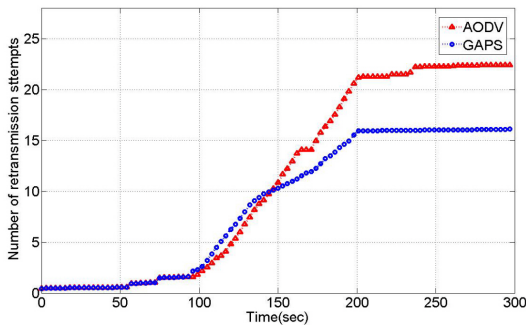


그림 8. Number of Retransmission attempts

V. 결 론

이동성 모델은 상당히 오랜 시간에 걸쳐 현재까지도 연구되고 있는 분야이다. 그러나 지금까지의 이동성 알고리즘은 정확성이 높아도 이를 실제 환경에 적용하기에는 돌발적인 변수에 대한 방안이 부족하기 때문에 문서화로 그치고 말았다. 하지만 제안된 AVGMP 모델은 기술 네트워크의 OTM 환경에서 적용할 수 있도록 위치정보를 이용하여 현재 이동 노드의 다음 시간의 이동성을 계산하여 링크 유지 시간을 예측하였다. 이를 통해 기존의 이동성 모델의 단점인 실험 환경에만 적용할 수 있던 부분을 극복하여 실제 전송 환경에 적합하게 지형지물과 장애물을 고려하여 설계되었다. 또한 단순히 이동성 예측 모델만을 제안하지 않고 이를 바탕으로 실제 이동 환경에서 적용할 수 있는 GAPS 프로토콜을 설계하여 제안된 모델의 성능을 입증하였다.

시뮬레이션 결과는 GAPS 프로토콜이 처리율, 지연, 패킷 재전송 횟수의 측면에서 기존의 AODV 라우

팅 프로토콜과 비교하여 성능이 향상됨을 보여준다. 이는 이동성 예측 모델인 AVGMP를 적용하여 링크 단절 시 재탐색 시간을 감소시켜 전체적인 네트워크 성능을 향상시켰기 때문이다.

제안된 방식은 비교적 소규모 네트워크 시나리오에 적용함으로써 성능분석을 하였는데 대규모 네트워크인 경우 위치정보 공유를 위한 패킷 전송의 증가로 심각한 오버헤드가 발생하여 재전송 시간 감소의 효과를 누릴 수 없다. 따라서 크고 복잡한 네트워크에 적용하기 위한 라우팅 방안을 추후에 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Steve Fahcy, "Joint Command and Control On the Move", *IEEE MILCOM* 2005
- [2] Douglas W. Elmendorf, "The Army's Tactical Wireless Programs", *The Army's Wireless Communications Programs*, Feb. 2009
- [3] Creighton Hager, Jared Burdin, Randall Landry, "Modeling Emergent Behavior in Tactical Wireless Networks", *IEEE MILCOM* 2009
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad-hoc Network Research," *Wireless Communication & Mobile Computing(WCMC)*, Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications, Vol.2, No.5, pp483-502, September 2002.
- [5] W. Su, S.-J. Lee, and M. Gerla, "Mobility Prediction in Wireless Networks," in *Proceedings of IEEE MILCOM 2000*, Los Angeles, CA, October 2000.
- [6] Shah, N. Qian, D. Iqbal, K. "Performance evaluation of multiple routing protocols using multiple mobility models for mobile ad hoc networks" *IEEE International /INMIC*.2008, Publication Year: 2008 , pp.243-248
- [7] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A group Mobility model for ad hoc wireless networks," In *Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, August 1999
- [8] Karen H. Wang and Baochun Li, "Group Mobility and Partition Prediction in *Wireless*

ad-hoc Networks,” *IEEE ICC*’2002, Apr. 2002

[9] Li Ning, Guo Yan, Dong Chao, Wang Jinlong, “Diamond Group Mobility Model for ad hoc network in military”, *Signal Processing*, 2008. *ICSP* 2008. 9th International Conference on, Publication Year: 2008, pp.2754-2756

[10] Chegin, M. Fathy, M. “Optimized Routing Based on Mobility Prediction in Wireless Mobile Adhoc Networks for Urban Area,” *IEEE ITNG* 2008, pp.390-395, Apr. 2008


[11] Tom Goff, Nael B, et al. “Preemptive Routing in Ad-hoc Networks,” *ACM SICMOBILE*, pp. 4352, June, 2001.

[12] Pei, G., Gerla, M., Hong, X., Chiang, C.-C., “A wireless hierarchical routing protocol with group mobility,” *Wireless Communications and Networking Conference*, 1999. *WCNC*. 1999 IEEE, Vol.3, pp.1538-1542, 1999

[13] Mousavi, S.M.; Rabiee, H.R.; Moshref, M.; Dabirmoghaddam, “Model Based Adaptive Mobility Prediction in Mobile Ad-Hoc Networks”, A.; *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2007. *WiCom* 2007. International Conference on 21-25 Sept. 2007 pp.1713-1716


[14] <http://www.faqs.org/rfcs/rfc3561.html>, Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing (RFC 3561)

노 상 호 (Sang-Ho Rho) 준회원



2003년 3월 육군 사관학교 응용 물리학과 학사
2009년 3월~현재 아주대학교 NCW 공학과 석사과정(위탁 교육)
<관심분야> 국방 전술 네트워크, 이동 통신

박 형 준 (Hyung-Joon Park) 준회원



2009년 3월 아주대학교 컴퓨터 공학과 학사
2009년 3월~현재 아주대학교 컴퓨터 공학과 석사과정
<관심분야> IEEE 802.11 무선 랜 환경에서의 QoS 보장 기술

정 종 관 (Jong-Kwan Jung) 정회원



1997년 3월 육군사관학교 정보 공학과 학사
2004년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
2008년 3월~현재 아주대학교 NCW 공학과 박사과정(위탁 교육)
<관심분야> 국방 전술 네트워크 QoS

노 병 희 (Byeong-Hee Roh) 중신회원



1987년 2월 한양대학교 전자공학과 학사
1989년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1998년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1989년 3월~1994년 2월 한국통신 통신망연구소
1998년 2월~2000년 3월 삼성전자
2000년 3~현재 아주대학교 정보컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 유/무선 인터넷 멀티미디어 통신 및 응용, 트래픽제어, 유비쿼터스 네트워크, 인터넷 보안, 국방전술통신 네트워크