

이동 궤적을 고려한 링크 상태 예측을 통한 공중 백본 네트워크 라우팅 성능 향상 방법

Routing Performance Improvement Based on Link State Prediction of Trajectory in Airborne Backbone Network

신진배* 최근경* 노병희* 강진석**
Jin-Bae Shin Geunkyung Choi Byeong-hee Roh Jin-Seok Kang

Abstract

The airborne backbone network(ABN) provides communication transport services between airborne nodes, surface nodes and satellite nodes. Such ABN is generally constructed with wide-body and high-capacity planes such as AWACS, which can fly long-term along pre-defined flight paths. In this paper, we propose an efficient method to improve routing performances by reconfiguring routing path before link failure based on the prediction of link state with the information of pre-defined backbone nodes' trajectories. Since the proposed method does not need additional information exchange between airborne nodes in order to acknowledge the link failure, it can be effectively used for airborne backbone network with limited bandwidths.

Keywords : Airborne Backbone Network(공중백본망), Ad-hoc Routing(애드혹 라우팅), Air Tasking Order(공중 비행 임무), OLSR(최적 링크 상태 라우팅), OPNET(오픈넷)

1. 서론

미래 전쟁 수행 개념인 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare)은 전쟁을 수행하는 모든 구성 요소들이 네트워크를 통하여 연결되는 것을 기반으로 한다. 범세계 정보 격자(GIG : Global Information Grid)는 NCW 구현을 위하여 미군에서 추진중인 기반

체계로서, 전투원, 정책결정자, 지원 인원에 이르기까지 언제 어디서나 네트워크에 연결하여 정보를 수집, 처리, 저장, 분배 및 관리할 수 있는 복합시스템으로서 IP기반의 네트워크 구조를 기본으로 하고 있다^[1]. 그러나, 실제 전장 환경에서는 GIG 체계를 활용하기 위한 네트워크 접근성이 제한되므로, 전송 대역폭 및 전송 가능영역을 확대하려는 노력이 이루어지고 있다^[12]. 공중 네트워크(AN : Airborne Network)는 네트워크 접근성을 비약적으로 높일 수 있는 이점을 제공할 수 있으며, 미 공군에서는 공중네트워크를 구축하여 공중 및 우주 환경으로 GIG 체계를 확장하고 공중작전 수행 및 지·해상을 연결한 합동작전을 수행하려는 비

† 2011년 2월 25일 접수~2011년 5월 13일 게재승인
* 아주대학교 대학원 NCW학과(Ajou University)
** 아주대학교 장위국방연구소(Ajou University)
책임저자 : 노병희(bhroh@ajou.ac.kr)

전을 가지고 있다^[2].

AN들간의 효과적인 연결과 지상과 위성 노드들과의 효과적인 연결을 위하여 단위 AN들은 공중 백본 네트워크(ABN : Airborne Backbone Network)를 통하여 상호 연결될 수 있다^[2,3]. AN에서는 노드간의 거리가 멀고 구성 노드의 밀도가 작기 때문에 목적지까지의 패킷 전송 경로에서 단절이 빈번히 일어나며 네트워크의 전체적인 성능 감소가 발생한다. 따라서 공중네트워크 토폴로지 특성에 맞도록 안정적 데이터 전송이 가능한 데이터 경로를 선택하는 라우팅 기술이 매우 중요하다. 이를 극복하기 위한 방안으로서, 기존의 애드혹 라우팅 프로토콜들을 AN에 적용하였을 때의 성능을 비교한 연구들이 이루어졌다^[5-7,9]. 그러나, 이들 방법들은 ABN을 구성하는 공중 노드들의 특성을 반영하지는 못하고 있다. ABN을 구성하는 항공기들은 일정한 비행경로와 속도를 유지하고 비교적 긴 시간 동안 운영되는 특성이 있다. 이러한 ABN을 구성하는 백본 항공기 노드들간에 이동궤적 정보를 교환하여 경로를 설정하는 방법이 제안되었으나^[4,8], 기존 라우팅 프로토콜과의 연관성을 제공하지는 못하고 있다.

본 논문에서는 일정한 비행경로를 유지하는 ABN 노드들의 궤적 정보를 활용하여, 끊김없는 데이터 전달을 위하여 링크 상태를 예측하여 경로를 재설정함으로써, 라우팅 성능을 향상시키기 위한 방법을 제안한다. 제안 방법은 공중 노드들간에 링크 단절을 판단하기 위한 추가적인 정보 교환이 필요가 없으므로, 대역폭이 제한된 공중 네트워크에 효과적으로 적용 가능하다.

2. 이동 궤적을 고려한 라우팅 성능 향상 방법

가. 공중 네트워크 일반환경 및 이동궤적

Fig. 1에 보인 바와 같이, AN은 최소 1개 이상의 공중 비행이 가능한 노드를 통해 통신 서비스를 제공하는 기반시설로 정의되며, 공중 플랫폼들 간을 서로 연결하는 것뿐만 아니라 GIG 체계의 일부분으로서 위성(우주) 네트워크와 지상 네트워크를 연결하는 역할을 수행한다^[2,3]. 가장 본질적인 AN의 목적은 다양한 종류의 플랫폼들을 포함한 서브 네트워크들이 필요로 하는 모든 서비스의 접근이 가능하도록 함으로써 유비쿼터스 환경과 네트워크 연결성을 보장하는 것이다. 이러한 상호 연결은 Fig. 1에서 Airborne Wideband

Network으로 표현된 ABN을 통하여 이루어진다.

제안하는 방법은 무선 링크의 수신신호 세기를 모니터링하여 상대 노드의 이동성을 예측한다. 일반적인 무선 채널 환경에서 수신신호 세기를 통해 상대 노드의 거리를 측정하는 것은 고려해야할 요소가 많고 부정확하다. 그러나 공중네트워크 환경은 상대 노드와LOS 상태를 유지하며 다른 간섭이 없는 환경이다. 따라서, 무선 채널의 특성에는 거리에 인한 신호 감쇄만이 가장 큰 요소로 작용하기 때문에, free space propagation model^[10]을 적용하여 상대 노드와의 거리를 측정할 수 있다.

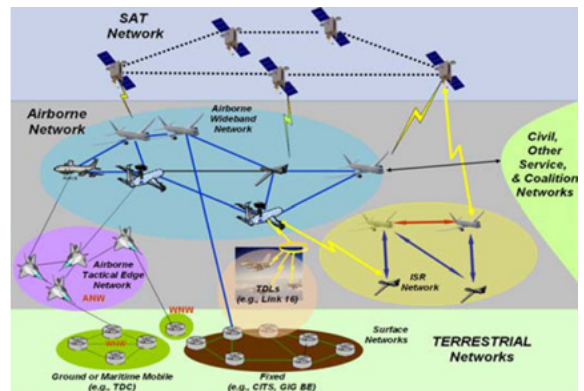


Fig. 1. 공중네트워크 개념도^[3]

ABN 노드들은 계획된 ATO의 이동 궤적을 따라 비행하여야 하나, 기상 상태나 조종사의 재량에 따라 계획된 경로를 크게 이탈할 수는 있으나, 이것은 일시적인 것으로서 곧 원래의 이동 궤적으로 복귀하는 특성을 갖고 있다. 이동 궤적을 준수하는 상황에서 기상 상태나 계획기의 오차범위 내에서 ATO의 궤적과는 유사하나 완전히 일치하게 되지는 않는 상황들이 빈번히 발생하게 된다.

본 논문에서는 이러한 ABN 노드들의 특성에 기반하여 다음과 같은 가정을 적용한다. 각 ABN 노드는 GPS를 통해 자신의 위치 정보를 알 수 있으며, 전체 노드들은 시간 동기화를 이루고 있다. 또한, ABN 노드들은 ATO의 이동궤적 정보를 사용하여 상대 노드의 위치를 알 수 있는 것으로 가정한다. 이로 부터, 각 ABN 노드는 이륙하기 전에 전송 받은 ATO의 이동궤적 정보를 토대로 특정 시간에서의 상대 노드와의 거리를 계산할 수 있다. 전술한 바와 같이, [6]에서는 여러 라우팅 프로토콜에 대한 비교 실험을 통하여 공중

네트워크에서는 OLSR^[13] 이 적합함을 보였다. 이러한 결과에 기반하여, 본 논문에서는 ABN의 라우팅 프로토콜로서 OLSR을 사용한다.

나. 네트워크 시스템 모델

제안 방법에서는 시간을 일정한 간격인 Δ 로 구분되어 있다고 가정한다. 이 Δ 는 링크 상태를 예측하기 위한 기본 시간 간격이 된다. 그리고 제안기법을 설명하기 위하여 다음과 같은 변수들을 정의하기로 한다.

- t_n : n번째 Δ 시간 간격($t_n = n\Delta, n = 1, 2, \dots$)
- $P_i^{RX}(t_n)$: t_n 에서 노드 i 의 수신신호 세기
- $P_i^{TX}(t_n)$: t_n 에서 노드 i 의 송신신호 세기
- $C_i(x_{i,n}, y_{i,n}, z_{i,n})$: t_n 에서 노드 i 의 실제 좌표
- $C_i^T(x_{i,n}^T, y_{i,n}^T, z_{i,n}^T)$: t_n 에서 계획된 이동 궤적에 의한 노드 i 의 좌표
- $D_{ij}(t_n)$: t_n 에서 노드 i 와 j 간의 실제 거리
- $D'_{ij}(t_{n+1})$: t_n 에서 예측한 t_{n+1} 에서의 노드 i 와 j 간의 거리
- $D_{ij}^T(t_n)$: t_n 에서 이동 궤적 좌표에 의한 노드 i 와 j 간의 거리
- $d_{ij}(t_n)$: t_{n-1} 과 t_n 사이에서 노드 i 와 j 간 이동 거리의 변화 ($d_{ij}(t_n) = D_{ij}(t_n) - D_{ij}(t_{n-1})$)
- R_i^{TX} : 노드 i 의 전송 가능한 거리

ABN 노드인 항공기는 사전에 계획된 이동궤적을 따라 비행한다. 그러나 실제 항공기가 이동하는 좌표는 계획된 이동궤적의 좌표와 일시적으로 달라질 수 있다. C_i^T 는 계획된 이동궤적에서 지정된 노드의 좌표를 의미하고, C_i 는 계획된 이동궤적에서 달라질 수 있는 노드의 실제 좌표를 의미한다. 한 노드에서 상대 노드와의거리 변화는 무선 링크의 수신신호 세기를 측정하여 알아낼 수 있다. 노드 A에서 수신된 상대 노드의 신호 세기를 P_A^{RX} 라고 하면, 해당 무선 링크에서 두 노드 사이의 거리는 수신 노드가 받는 신호세기에 반비례한다. P_A^{RX} 가 낮아지면 두 노드 간의 거리는 멀어지고, 반대로 P_A^{RX} 가 증가하면 거리가 줄어 들고 있음을 의미한다.

두 노드 A와 B가 시간 t_{n-1} 과 t_n 에서 Fig. 2에 보이는 바와 같이 이동한 경우를 고려하기로 한다. Fig. 2

에는 t_{n-1} 과 t_n 에서의 노드 A와 노드 B의 좌표들과 두 노드들간의 상대거리가 주어져 있다. 이때 두 노드 사이에 변화된 상대 거리의 크기는 수신신호 세기의 변화량으로부터 계산할 수 있다. 즉, t_n 에서 노드 A가 노드 B로부터 수신한 신호의 세기는 다음과 같다^[10].

$$P_A^{RX}(t_n) = \frac{k \cdot P_B^{TX}(t_n) \cdot G_A \cdot G_B \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot D_{AB}(t_n)^2} \quad (1)$$

여기에서 G_A 와 G_B 는 각각 노드 A와 B의 안테나 이득, k 는 시스템 손실요인 변수, λ 는 전송주파수의 파장이다.

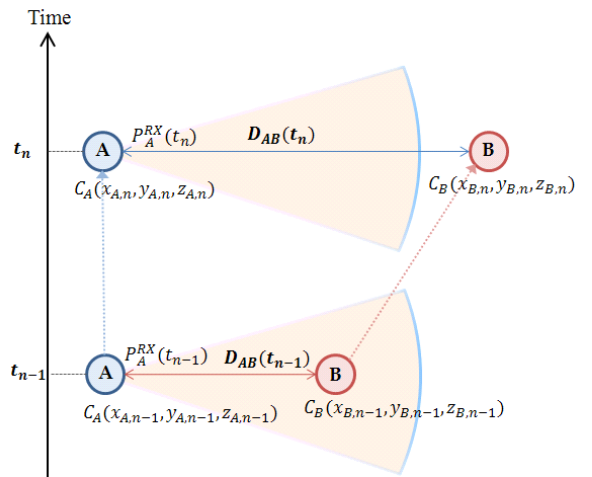


Fig. 2. 노드 이동 거리와 수신 신호 세기의 관계

마찬가지로 노드 B가 노드 A로부터 수신한 신호 세기 $P_B^{RX}(t_n)$ 도 유사하게 구할 수 있다. 식 (1)으로부터 시간 t_n 에서 노드 A와 노드 B 간의 상대거리는 다음과 같이 구해낼 수 있다.

$$D_{AB}(t_n) = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{k \frac{P_B^{TX}(t_n) \cdot G_A \cdot G_B}{P_A^{RX}(t_n)}} \quad (2)$$

$S_A(t_n)$ 을 t_{n-1} 과 시간 t_n 사이에서의 노드 A의 수신신호 세기의 변화라고 정의하기로 하면, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_A(t_n) = P_A^{RX}(t_n) - P_A^{RX}(t_{n-1}), n = 1, 2, \dots \quad (3)$$

여기에서 $S_A(t_n)$ 이 음의 값이면 상대 노드와 점점 멀어지고 있는 상태를 나타내고, $S_A(t_n)$ 값이 0일 경우에는 상대 노드와 거리의 변화가 없는 상태를 나타낸다. $S_A(t_n)$ 이 양의 값이면 상대 노드와 점점 가까워지고 있는 상태를 나타낸다. 각 노드가 상대 노드와의 수신신호 세기의 변화를 모니터링 하여 측정된 $S_A(t_n)$ 값은 상대 노드와의 거리의 변화를 의미하며 이를 사용한 링크상태 예측은 다음에 설명하기로 한다.

다. 위치 변화에 기반한 링크 상태 예측방법

시간 t_n 에서 두 노드 간의 다음 시간에서의 링크상태를 예측하기 위해서는 $S_A(t_n)$ 를 측정해서 계산되는 상대 노드와의거리와 ATO의 이동궤적 정보를 이용한다. 항공기의 이동경로는 ATO의 이동궤적을 따르지만 실제 항공기의 이동은 난기류, 구름과 같은 기상상태, 조종사의 재량 또는 항공관제 등에 의하여 일시적으로 달라질 수 있다. 하지만, ATO에 계획된 이동궤적을 완전하게 변경하기 전까지는 항공기는 주어진 이동궤적을 준수한다. 제안하는 기법에서는 현재의 상대 노드의 거리는 수신신호 세기를 통하여 계산하고, 수신신호 세기의 변화값인 $S_A(t_n)$ 을 모니터링 하여 다음 시간에서상대 노드와의 이동성을 예측한다. 또한 다음 시간 t_{n+1} 에서 상대 노드의 위치를 예측하는데 항공기가 비행경로를 따르는 특성을 반영하기위하여 ATO의 이동궤적 정보를 사용한다.

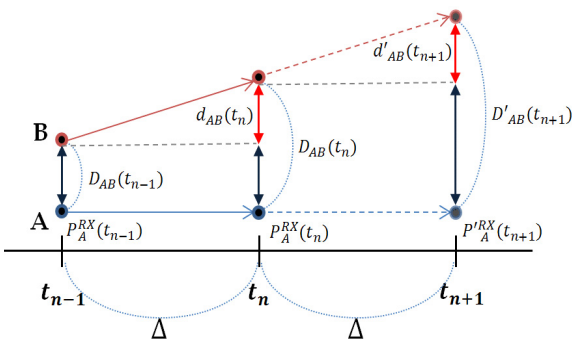


Fig. 3. 수신신호 세기 변화에 따른 상대거리 예측

먼저 노드의 위치변화에 기반한 링크상태 예측 방법을 설명한다. 현재 시간 t_n 에서 노드 A와 B의 상대 거리 $D_{AB}(t_n)$ 은 위의 수식 (2)에 따라 계산된다. 다음으로 시간 t_{n+1} 에서 상대 노드와 거리는 수신신호 변

화 값인 $S_A(t_n)$ 를 통해 예측할 수 있다.

본 논문에서 고려하는 ABN 노드인 대형항공기는 정해진 이동 궤적을 따라 일정하게 움직이는 특성이 있다. Fig. 3과 같이 이동하는 두 노드를 살펴보면, 시간 t_{n-1} 과 t_n 사이에서 두 노드간의 상대거리는 $D_{AB}(t_{n-1})$ 에서 $D_{AB}(t_n)$ 으로 변화였다. 이때 상대거리의 변화량 $d_{AB}(t_n)$ 은 수식 (2)와 (3)에 의하여 식 (4)와 같이 $S_A(t_n)$ 값으로 계산할 수 있다.

$$d_{AB}(t_n) = i \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{k \frac{P_B^{TX}(t_n) \cdot G_A \cdot G_B}{|S_A(t_n)|}} \quad (4)$$

여기에서 $S_A(t_n) \geq 0$ 일때 $i = -1$, $S_A(t_n) < 0$ 일때는 $i = 1$ 이 된다.

따라서 일정하게 이동하는 항공기의 특성을 고려하면 t_{n-1} 과 t_n 사이에서 측정된 $S_A(t_n)$ 와 t_{n+1} 에서 예측되는 $S'_A(t_{n+1})$ 는 식 (5)와 같은 관계를 가정할 수 있다.

$$S_A(t_n) \cong S'_A(t_{n+1}) \quad (5)$$

이때 예측되는 $S'_A(t_{n+1})$ 의 정확도는 Δ 와 관련이 있으며, Δ 크기를 적절히 조절하면 가능 예측오류가 δ 이하가 되도록 할 수 있다. 결국, 수신신호 세기를 측정하여 시간 t_{n+1} 에서 예측되는 상대 노드와의 거리 $D'_{AB}(t_{n+1})$ 은 아래 수식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$D'_{AB}(t_{n+1}) = D_{AB}(t_n) + d_{AB}(t_n) \quad (6)$$

공중네트워크를 구성하는 항공기들은 사전에 계획된 비행경로인 이동궤적을 따라 이동하는 특성을 가지고 있다. 실제 상황에서의 항공기의 이동은 일시적으로 계획된 비행경로를 벗어날 수 있지만, 일정한 경로를 준수하는 특성 때문에 곧 계획된 이동궤적으로 수렴한다. 따라서 ATO의 이동궤적 정보를 활용하여보다 정확한 링크상태를 예측할 수 있다. 시간 t_{n+1} 에서 ATO의 이동궤적정보에 따른 상대 노드와의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_{AB}^T(t_{n+1}) = \sqrt{(x_{A,n+1}^T - x_{B,n+1}^T)^2 + (y_{A,n+1}^T - y_{B,n+1}^T)^2 + (z_{A,n+1}^T - z_{B,n+1}^T)^2} \quad (7)$$

Fig. 4는 이동체적을 고려한 링크 예측을 통하여 두 노드 A와 B가 전송거리를 벗어나는 것을 예측하는 과정을 표현한 것이다. 먼저 청색 점선은 노드의 위치 변화에 기반하여 예측된 상대 노드를 나타낸 것으로 시간 t_{n+1} 에서 노드 B와의 거리는 $D'_{AB}(t_{n+1})$ 으로 예측된다. 그러나 노드 B의 실제 이동경로는 ATO의 이동체적을 따라 수렴하는 형태가 되어 예측된 거리를 벗어난다. 노드의 위치변화에 기반한 예측은 직선 움직임에는 적합하지만 방향전환이 이루어지는 상황에서는 오차가 생기기 때문에 $D'_{AB}(t_{n+1})$ 으로만 상대 노드와의 링크상태를 판단하는 것은 부정확한 경우가 있다. 따라서 상대 노드와의 링크상태를 판단할 때 이동체적을 고려한 $D^T_{AB}(t_{n+1})$ 를 적용한다. 이동체적을 고려하여 노드 B의 방향전환과 같은 이동 상황에서 보다 정확한 링크상태 예측을 할 수 있다.

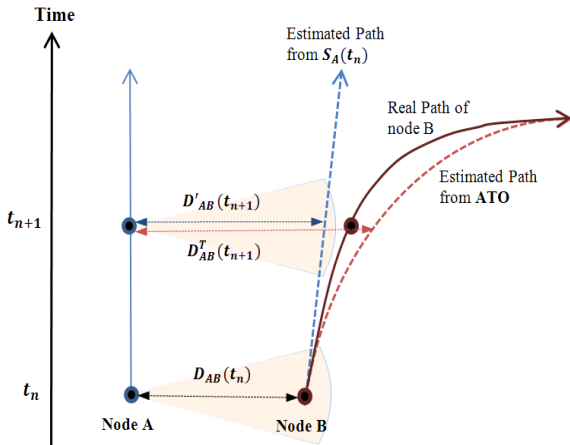


Fig. 4. 예측된 상대거리와 실제 이동경로 차이

A. 노드의 위치변화만을 고려한 경로 재설정 방법

Fig. 5에는 노드의 위치 변화만을 고려하여 링크 상태를 예측하고, 이를 통하여 경로를 재설정 하는 제안 방법의 과정을 나타내었다.

링크 상태 예측 과정은 먼저 수신신호 세기 $S_A(t_n)$ 를 모니터링 하고 다음 시간에서 상대 노드와의 거리 변화를 계산한다. 다음으로 예측한 상대 노드와의 거리 $D'_{AB}(t_{n+1})$ 이 전송범위 R_A^{TX} 이내에 있을 경우 무선 링크가 양호할 것으로 판단하고, 전송범위를 벗어날 것으로 예측되는 경우에 대체경로를 선택한다. 대체경로 선택은 OLSR 프로토콜에서 링크단절이 예측

되는 경로를 삭제하고 라우팅 테이블을 재계산하는 것으로 이루어진다.

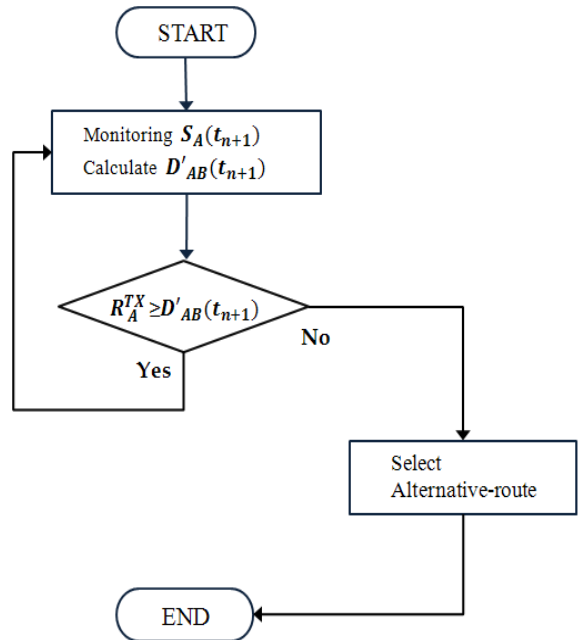


Fig. 5. 노드 위치 변화만을 고려한 경로 재설정 과정

경로를 재설정하는 과정은 다음과 같다. OLSR 프로토콜의 라우팅 테이블 경로 엔트리는 목적지 주소, Next-hop 주소, 목적지까지의 거리로 구성되어 있다. 이 테이블은 이웃 노드의 변화가 발견되었을 때, 경로 정보에 변화가 생겼을 때, 재계산이 이루어지게 되며 라우팅 테이블의 재계산은 다른 이웃 노드에게 전송되는 패킷이 생성되지 않으므로 추가적인 오버헤드가 발생하지 않는다. OLSR의 라우팅 테이블 계산 과정을 활용하여 경로를 재설정하는 과정에 대한 의사 코드는 다음과 같다.

```

Compute distance through current R_dest_addr
and interface
if (distance is less than ) then
    LinkState = true
else
    LinkState = false
    RemoveEntry R_dest_addr from routing_table
    calculate routing_table
end if
    
```

B. 노드의 위치변화와 ATO 이동궤적을 고려한 경로 재설정 방법

Fig. 6은 노드의 위치변화와 ATO의 이동궤적을 모두 고려하여 링크상태를 예측하여 경로를 재설정하는 과정을 나타낸 것이다.

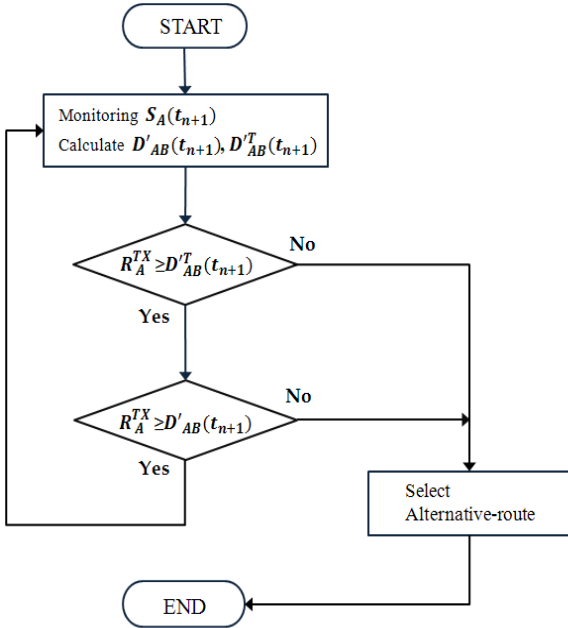


Fig. 6. 노드의 위치변화와 이동궤적을 고려한 경로 재설정 과정

먼저 수신신호 세기 $S_A(t_n)$ 를 모니터링 하고 다음 시간에서 상대 노드와의 거리 변화를 계산한다. 노드 A의 전송 가능한 거리 R_A^{TX} 를 기준으로, 링크상태 예측 알고리즘은 먼저 ATO의 이동궤적 정보에서 계산한 상대 노드의 거리 $D'_{AB}(t_{n+1})$ 가 전송가능 거리 R_A^{TX} 를 벗어나면 링크가 단절될 것으로 판단하고 라우터는 대체경로를 설정한다. 상대 노드의 실제위치와의 오차로 인하여 전송범위 안에 있을 가능성도 있으나, 항공기가 예측범위를 벗어나서 전송범위 밖에 위치한 이동궤적으로 복귀할 수 있기 때문이다. 다음으로 예측한 상대 노드와의 거리 $D'_{AB}(t_{n+1})$ 이 전송범위 R_A^{TX} 보다 작으면 무선 링크가 양호할 것으로 판단한다. 현재 전송 경로로 사용중인 무선 링크의 단절이 예상되면 알고리즘은 해당 링크로 데이터가 전송되지 않도록 대체경로를 설정하는 과정을 수행한다.

3. 실험 결과

제안 방법의 성능을 보이기 위하여 OPNET modeler 14.5^[14]를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에는 총 5대의 노드를 사용한다. 본 논문에서 고려하는 공중네트워크 구성은 Fig. 7과 같으며, 각 노드의 배치는 MITRE에서 사용한 CSAR(Combat Search and Rescue) 시나리오를 적용한 것이다^[4,8]. 각 노드는 일정한 비행경로를 따라 비행하며, 비행경로는 고도 6000m의 양쪽 모서리가 둥근 직사각형(Rounded Rectangle) 모양이다. 또한, 길이는 160~240km, 너비는 30km, 시계방향으로 이동하며 이동속도는 700~770km/H이다. 각 노드의 정해진 이동궤적은 Table 1과 같으며, 실제 노드의 이동은 이동궤적에서 10km의 오차범위 내에서 이동한다.

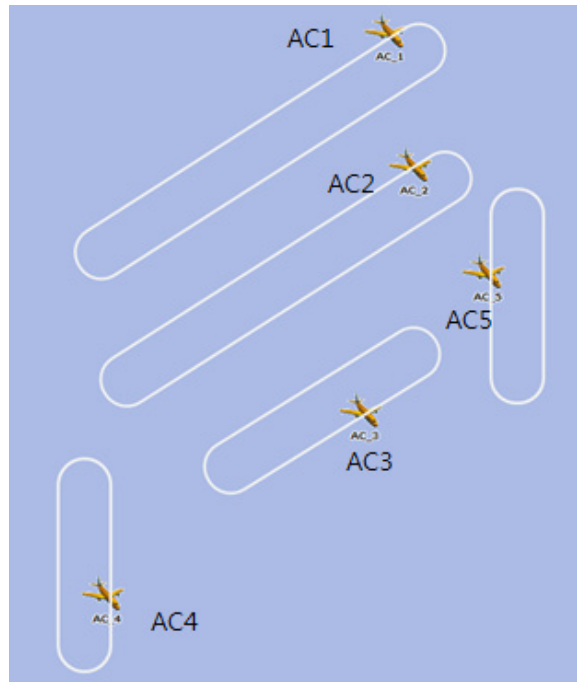


Fig. 7. 노드 배치 및 경로

각 노드는 ATO의 이동궤적 정보를 활용하여 링크상태를 예측하지만 실제 노드의 이동은 정해진 이동궤적과 오차가 발생하기 때문에 수신신호 세기를 측정하여 상대 노드와의 거리를 예측하여 이를 보완한다. 이 같은 상황에서 제안기법의 성능을 평가하기 위해 다른 4개의 노드에서 AC 4 노드로 60Kbps의 트래

픽을 전송하였다. 공중네트워크의 무선 링크는 실제 공중네트워크에서 TTNT, TCDL과 같은 전송수단을 사용하는 것을 고려하여 시뮬레이션에서는 전송 대역폭을 1Mbps로 설정한 TDMA MAC을 사용하였고, 세부 시뮬레이션 파라미터 설정은 아래 Table 2와 같다. 시뮬레이션 시간은 90분으로 설정하였고 위치 변화에 기반한 링크상태 예측 방법을 제안기법 A로, 이동체적을 고려한 링크상태 예측을 제안기법 B로 표시하였다. 시뮬레이션 결과 분석은 기존의 OLSR과 제안기법 A만을 적용한 경우, 제안기법 A와 B를 적용한 경우에 대한 성능을 비교하였다.

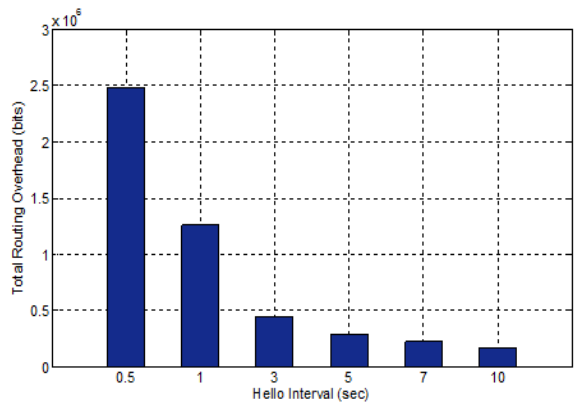
Table 1. 노드 이동 시나리오

대상 노드	비행 경로	이동 속도
AC 1, 2	240 × 30km	700km/H
AC 3	190 × 30km	770km/H
AC 4, 5	165 × 30km	730km/H

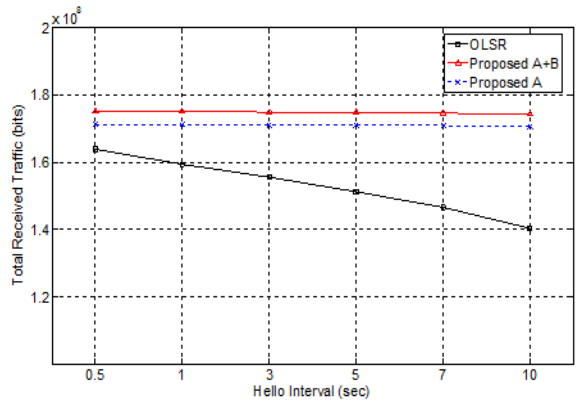
Table 2. 시뮬레이션 파라미터 값

파라미터	값
노드 수	5
전송 주파수	420MHz
전송 파워	200W
트래픽 유형	60Kbits/sec RAW packet
무선 채널 모델	Free Space Propagation Model
MAC type	TDMA
대역폭	1Mbps

Fig. 8에는 Hello 시간 간격을 변화시켰을 때의 수신된 트래픽과 오버헤드 성능을 보여준다. Fig. 8(a)에 보이바와 같이 Hello 시간 간격이 작을수록 라우팅 오버헤드는 지수적으로 커지게 된다. Hello 시간 간격이 작을수록 Hello 메시지의 발생이 많아지게 되고, 이것은 네트워크에 부담을 주게 된다. Fig. 8(b)에서와 같이 OLSR 프로토콜에서는 Hello 시간간격이 길어짐에 따라 성능 하락이 나타나고, 제안방법들은 OLSR에 비하여 우수하면서 거의 일정한 성능을 보여준다.



(a) 라우팅 오버헤드



(b) 누적 수신 트래픽

Fig. 8. Hello 시간간격에 따른 성능

Fig. 9는 시뮬레이션 시간 약 65분경에 발생하는 상황으로서, AC1 노드에서 AC4노드로 전송하는 트래픽에 대한 홉 카운트 변화를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 홉 카운트 0은 링크 단절을 인지하지 못하여 트래픽 전달이 안 되는 경우를 나타낸다. 약 65분경에 AC1 노드의 전송 트래픽은 1홉으로 전송이 이루어지다 링크가 단절되어 2홉의 라우팅 경로로 대체되는 과정이 발생한다. 이때 발생하는 링크 단절은 상대 노드의 이동 방향이 바뀌는 시점에 일어나는 상황이다. 기존 OLSR 프로토콜에서는 링크 단절이 발생한 후에 이를 인지하는 시간이 필요하기 때문에 링크 단절이 발생한다. 제안기법 A만을 적용한 경우는 노드의 이동이 일정한 상태에서는 링크 단절이 발생하기 전에 예측이 이루어지나, 노드의 방향이 전환되는 것처럼 이동 특성이 급격하게 변하는 지점에서는 링크 단절을 예

측하는 것이 정확하지 못하다는 것을 알 수 있다. 제안기법 B를 적용하면 이동제적 정보를 활용하여 제안기법 A만으로 예측하지 못하는 노드의 이동에 대처할 수 있다.

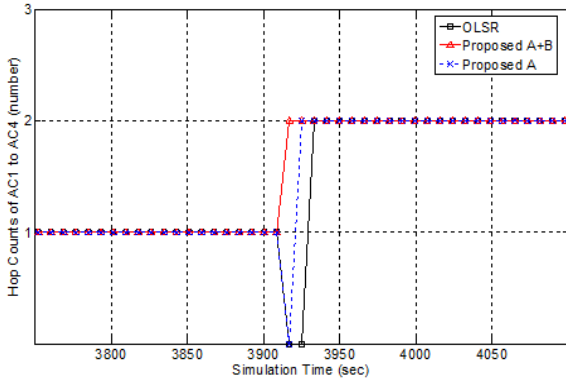
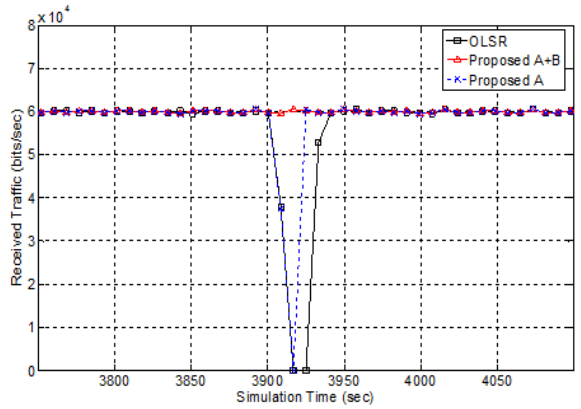


Fig. 9. 노드 AC1에서 AC4까지의 홵 카운트 변화

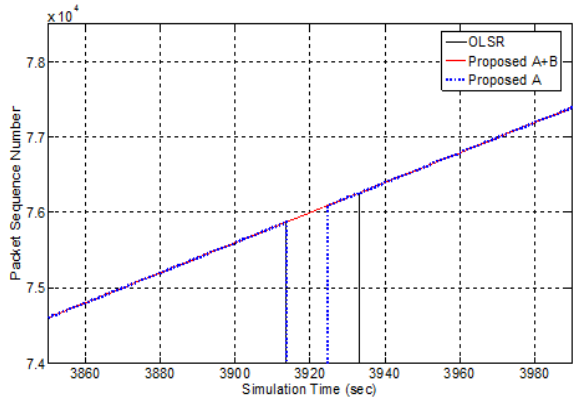
Fig. 10에는 Fig. 9에 보인 상황에서의 패킷 전송 성능을 보여준다. Fig. 10(a)는 AC4 노드가 AC1노드로부터의 트래픽 수신율을 보여준다. OLSR은 경로단절후에 반응하므로, 경로단절 인식전까지 트래픽 수신율이 0로 나타난다. 반면에, 제안기법 A와 제안기법 B는 링크단절의 발생을 예측하므로, 트래픽 수신율 성능이 OLSR에 비하여 우수함을 알 수 있다. 특히, 제안기법 A의 경우 경로단절에 반응하는 시간은 빠르나, 여전히 단절 구간이 존재하나, 제안기법 B의 경우는 단절 구간이 거의 없음을 알 수 있다. Fig. 10(b)는 이러한 결과에 따른 전송패킷의 도착시간을 보여준다. 이를 위하여, 발생 패킷에 일련번호를 부여하고, 목적지 노드에서 도착한 시간을 측정하도록 하였다. 제안기법 B는 전송 패킷 모두가 일정 시간에 도착하였고, 제안기법 A의 경우 일부 미 도착 패킷이 존재하나, OLSR에 비하여 기간이 매우 작음을 볼 수 있다.

Fig. 11에는 전체 시뮬레이션 수행 기간 중 성공적으로 전송된 총 트래픽량을 나타내었다. OLSR과 비교하여, 제안기법 A만을 적용하였을 때 약 8%의 성능 향상이 나타났으며, 제안기법 B를 적용한 경우 약 9%의 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 성능향상 정도가 작은 것은, 제안방법들은 링크단절이 발생하는 구간에서만 성능우위를 제공하고, 링크가 정상적인 상태에서는 OLSR과 동일하게 되므로, 전체 트래픽량 관점에서는 성능 향상 정도가 미미하여 보이나, 링크단절 상황

만을 고려할 때는 성능 향상이 더욱 크게 나타날 수 있음을 쉽게 짐작할 수 있다.



(a) 트래픽 수신률



(b) 패킷 도착 시간

Fig. 10. 패킷 전달 성능

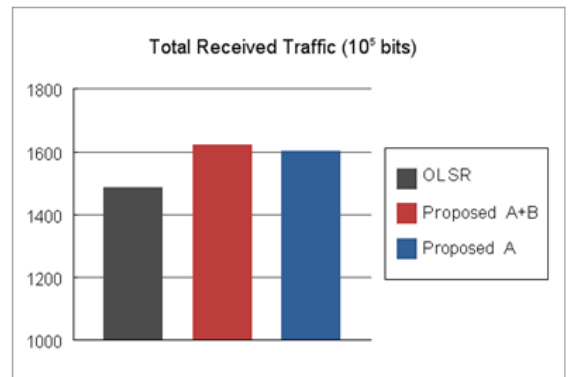


Fig. 11. 누적 수신 트래픽량

4. 결론

본 논문에서는 공중 백본 네트워크(ABN) 환경에서 상대 노드의 거리와 ATO 비행정보의 이동궤적 정보를 기반으로 링크 상태 예측과 경로 재설정을 통하여 라우팅 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안 방법을 기존의 공중네트워크 관련 연구들에서 가장 안정적인 성능을 갖는 것으로 평가되는 OLSR 프로토콜을 대상으로 성능을 비교하였다. OPNET 시뮬레이터로 ABN을 구성하였으며, 제안방법이 링크단절을 사전에 예측하고 빠르게 대체경로를 설정함으로써 기존 방식들에서 무선 링크단절을 인식한 후 대체경로 설정하는 사이에 발생하는 전송 패킷의 단절을 줄이고 트래픽의 수신률을 높일 수 있음을 보였다. 또한, 제안방법은 추가적인 라우팅 오버헤드를 발생하지 않기 때문에 대역폭이 제한되어 있는 공중네트워크에 적용하여 성능 향상을 가져올 수 있음을 확인하였다.

미군에서는 ABN을 중심으로 sub-AN, 위성, 그리고 지상망을 상호연동하는 계층구조의 AN 개념을 정립하여 추진중에 있다^[2]. 현재 우리나라 공군의 C4I 체계는 AN의 개념이 포함되어 있지 않으나, NCW 개념 하에서 전쟁 수행의 효율성을 제공하기 위하여 AN의 도입을 계획하고 있다. 이러한 상황에서, 본 논문의 연구는 우리 공군에서 AN을 구성하고 이를 기반으로 한 전술네트워크를 효과적으로 관리할 수 있는 개념을 정립하는데 기여할 수 있을 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(NIPA-2011-C1090-1121-0011)의 지원을 받아 수행되었음.

References

[1] 이태공, NCW 이론과 응용, 홍릉과학출판사, 2008.
 [2] USAF ANSIG, "Airborne Network Architecture - System Communications Description & Technical Architecture Profile, Version 1.1", USAF Airborne

Network Special Interest Group, Oct. 2004.
 [3] N. Krishnamurthi, A. Ganguli, A. Tiwari, B. Shen, J. Yadegar, G. Hadynski, "Topology Control for Future Airborne Networks", IEEE MILCOM'2009, Oct. 2009.
 [4] A. Tiwari, et. al., "Feasibility of Communication Planning in Airborne Network using Mission Information", IEEE MILCOM'2009, October 2009.
 [5] D. Kiwior, E. G. Idhaw and S. V. Pizzi, "Quality of Service(QoS) Sensitivity for the OSPF Protocol in the Airborne Networking Environment", IEEE MILCOM'2005, Oct. 2005.
 [6] D. Kiwior and L. Lam, "Routing Protocol Performance over Intermittent Links", IEEE MILCOM'2007, Oct. 2007.
 [7] Katie Schroth and Diane Kiwior, "Interdomain Routing Protocol for Mobile Nodes", IEEE MILCOM'2007, Oct. 2007.
 [8] A. Tiwari, A. Ganguli, A. Sampath, D. S. Anderson, B. Shen, N. Krishnamurthi, J. Yadegar, M. Gerla, D. Krzysiak, "Mobility Aware Routing for the Airborne Network Backbone", IEEE MILCOM'2008, Oct. 2008.
 [9] E. Idhaw, et al., "Techniques for Enabling Dynamic Routing on Airborne Platforms", IEEE MILCOM'2009, Oct. 2009.
 [10] M. F. Iskander and Z. Yun, "Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems", IEEE Tr. Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, No. 3, Mar. 2002.
 [11] M. Compton, "Improving the Quality of Service and Security of Military Networks with a Network Tasking Order Process", Air Force Institute of Technology, Doctoral Thesis, Sep. 2010.
 [12] 김종철, 정종관, 노병희, "전술통신 네트워크와 QoS 기술," 전자공학회지, 제33권 제7호, pp. 40 ~52, 2008년 7월.
 [13] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol(OLSR)", IETF RFC 3626, Oct. 2003.
 [14] OPNET Modeller, <http://www.opnet.com>