

## 지상 무선 백본망과 위성 통신망 통합을 위한 동적 라우팅 연동 방안

최재원<sup>\*,1)</sup> · 조병각<sup>1)</sup> · 김기영<sup>1)</sup> · 박경열<sup>1)</sup> · 이주형<sup>1)</sup> · 한주희<sup>1)</sup> · 한이수<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 위성통신체계개발단

### Dynamic Routing Interworking Method for Integrating Terrestrial Wireless Backbone Network and Satellite Communications System

Jaewon Choi<sup>\*,1)</sup> · Byung Gak Jo<sup>1)</sup> · Ki Young Kim<sup>1)</sup> · KyoungYoul Park<sup>1)</sup> · Ju Hyung Lee<sup>1)</sup> · Joo Hee Han<sup>1)</sup> · Yeesoo Han<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Satellite Communications PMO, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 15 February 2016 / Revised 27 June 2016 / Accepted 2 September 2016)

#### ABSTRACT

The terrestrial wireless backbone network and satellite communications system have been independently developed depending on their own purposes and operational concepts, which results in different characteristics in terms of network architecture and routing protocol operation. In this paper, we propose a method for structurally integrating them in consideration of routing mechanism in an autonomous system. Our approach is that the routers of satellite network operate the OSPF in PTP mode on their interfaces connected to the routers of terrestrial wireless backbone network with grid connectivity, whereas the OSPF in satellite network whose topology is of hub-spoke type runs in NBMA mode. We perform some simulations to verify that the satellite communications system can be integrated and interwork with the terrestrial wireless backbone network by our proposed approach. From simulation results, it is also found that the increases of network convergence time and routing overhead are acceptable.

Key Words : Satellite Communications(위성통신), Terrestrial Wireless Network(지상 무선망), Dynamic Routing(동적 라우팅), OSPF(최단 경로 우선 프로토콜), Interworking(연동)

#### 1. 서론

지상 무선 백본망은 유선으로 백본을 구축하기 어려

운 환경이나 군사적인 용도를 위해 설치하는 통신망으로서 미군의 WIN-T(Warfighter Information Network-Tactical), MSE(Mobile Subscriber Equipment), 한국군의 SPIDER 체계 등이 이에 속한다. 이는 지역의 다수 가입자들이 무선으로 백본에 접속하는 구조의 통신망이므로 지역공용사용자체계(ACUS : Area Common User

\* Corresponding author, E-mail: drjchoi@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

System)라고도 일컫는다. 군에서 사용되는 지상 무선 백본망의 경우 안정성과 신뢰성을 높이기 위해 격자형 구조로 구성하는 것이 일반적이다. LOS(Line of Sight)가 확보된 일정한 거리 내에서 고속으로 대용량의 정보를 전송하기 위한 무선 인프라가 구축되고 가입자들은 이에 접속하여 음성 및 데이터 통신 서비스를 이용한다. 지상 무선 백본망은 상대적으로 광대역 통신이 가능하지만 지형 및 기상 영향에 따라 백본망 설치가 지연될 수 있다는 단점을 가지고 있다.

한편, 지형차폐를 극복하고 광역의 장거리 통신을 지원하기 위해 정지궤도(GEO : Geostationary Earth Orbit)를 이용한 위성통신체계 또한 효용성이 증대되고 있다. 위성통신은 지상 무선 백본망에 비해 신속한 통신망 설치가 가능하고 지형 및 기상 영향의 거의 받지 않는다는 장점이 있는 반면, 제한된 주파수 자원으로 인해 전송용량 제한 등의 단점을 가지고 있다.

지상 무선 백본망과 위성 통신망은 다른 목적과 특성을 가지고 이용되고 있으나, 사용자들의 다양한 요구에 부합하기 위해 두 통신망에 대한 통합의 필요성 역시 증대되고 있다. 본 논문에서는 격자형으로 연결되어 PTP(Point-to-Point) 모드로 라우팅 프로토콜이 동작하는 지상 무선 백본망과 Hub-Spoke 구조로 연결되어 DR (Designated Router) 중심의 NBMA(Non-Broadcast Multiple Access) 모드로 라우팅 정보교환이 이루어지는 위성 통신망을 하나의 AS(Autonomous System) 내에서 통합하기 위한 동적 라우팅 연동 방안을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 무선 환경에서의 라우팅 연구 현황을 살펴보고, 지상망과 위성망 통합과 관련된 기존의 연구 사례들을 소개할 것이다. 3장에서는 상이한 네트워크 구조와 라우팅 방식을 가진 지상 무선 백본망과 위성 통신망을 연동하기 위한 방안을 제안할 것이다. 4장에서는 제안하는 연동 방식의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석할 것이다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

본 장에서는 지상 무선 백본망과 위성 통신망에서 IP 라우팅에 관한 연구가 어떻게 진행되고 있는지 살펴본다. 그리고 이들을 통합하기 위한 기존의 연구 사례들을 고찰한다.

### 2.1 무선 환경에서의 라우팅 연구

하나의 AS 내에서 동작하는 OSPF(Open Shortest Path First)<sup>[1]</sup>는 링크 상태에 기반하여 경로가 설정되고 변경된 정보만 전송함으로써 빠른 수렴(convergence)이 가능하다. 따라서, OSPF는 가장 널리 사용되고 있는 동적 라우팅 프로토콜들 중 하나이다. 그러나 OSPF는 무선 환경에 적합하도록 대역폭만 고려되어 있으므로 무선 환경의 실시간 변경 특성을 반영하지 못한다. 따라서, 무선 네트워크에 적합하도록 OSPF를 적용하는 방안에 대한 연구들이 별도로 진행되었다.

Jongheon Lee 등은 OSPF 비용함수에 BER(Bit Error Rate)을 반영하였으며, 이외에도 상대적인 전송속도, 링크 가중치, 라우터의 이용률을 포함하였다. 이를 통해 무선 환경에서 선택 경로에 대한 효율성과 신뢰성을 높이고자 하였다<sup>[2,3]</sup>. Sung Sook Kook 등은 OSPF 비용함수에 대한 파라미터로서 이용 가능한 대역폭, 평균 BER, 평균 BER 편차, 그리고 링크전파지연을 고려하였다. 또한, 빈번한 비용 재계산을 줄이고자 임계치를 기준으로 하는 알고리즘을 제안하였다<sup>[4]</sup>. Dong Wook Shin 등은 *Effective* 대역폭을 이용하여 링크 비용을 계산하였으며, *Effective* 대역폭은 BER과 링크 대역폭을 기준으로 산정하였다. 또한, 수시로 변하는 불안정한 무선 환경에서도 동작이 가능하도록 비용함수 계산에 상한값과 하한값에 따른 트리거링(triggering) 조건을 두었다<sup>[5]</sup>. 해당 논문에서 제안된 비용함수는 본 논문에서 통합의 대상으로 고려하고 있는 지상 무선 백본망에 적용될 예정이다.

Hong-jun Noh 등은 위성통신체계에서 자원 할당 및 IP 네트워킹에 대한 설계 고려사항들을 기술적 관점에서 조사 및 분석하였다<sup>[6]</sup>. Lee Yun Seong 등은 제한된 자원을 사용하는 위성통신에서 오버헤드를 최소화하기 위해 위성운용국(NCC : Network Control Center)을 중심으로 라우팅 정보를 교환하고자 하였다<sup>[7]</sup>.

이상에서 살펴본 바와 같이, 정지궤도 위성 통신망을 위한 독자적인 라우팅 방식은 현재 제안되지 않은 상태이다. 위성 통신망에 적용할 라우팅 알고리즘을 개발할 때에는 제한된 주파수 자원을 사용자에게 최대로 할당하기 위해 라우팅 오버헤드를 최소화하는 방안이 마련되어야 한다. 이러한 관점에서 OSPF의 운용은 PTP 모드보다는 DR 중심의 NBMA 모드가 더욱 적절하며, 위성망에 적합한 메트릭 선정과 함께 비용계산이나 업데이트 방식에 대한 고려도 필요하다.

## 2.2 지상망과 위성망 연동에 대한 연구

Barry Evans 등은 다양한 멀티미디어 서비스 제공을 위해 위성통신은 지상망과 연동이 필요하며, 연동 문제는 미래 시스템에서 주요 이슈가 되고 있다고 언급하였다. 통합 네트워크는 All-IP 기반으로 종단간 연결과 QoS를 제공해야 하며, IP 네트워크 내에서 전달 효율성을 향상시키기 위해 계층교차적(cross-layer) 프로토콜에 주목할 필요가 있다고 강조하였다<sup>[8]</sup>. Jun Sun 등 또한 다양한 응용 서비스들을 지원하기 위해 미래의 위성통신시스템은 기존 통신 네트워크들과 통합되어야 한다고 주장하였다. 실시간 채널 할당에 기반하여 트래픽 경로를 동적으로 재설정하기 위해 라우터 에이전트의 사용을 제안하였고, AS 내 라우팅 프로토콜로 OSPF를 고려하였다. 라우터 에이전트가 위성 링크의 실시간 상태 정보와 DBRA(Dynamic Bandwidth Resource Allocation) 정보를 이용하여 위성 링크의 상태를 추정하고 링크별로 적절한 OSPF 비용을 계산하는 방식이다<sup>[9]</sup>.

Tarik Taleb 등은 지상망과 위성망의 연동을 위해 IGW(Interworking Gateway)를 정의하였다. IGWs는 네트워크의 동적 상태 피드백과 RTT(Round-Trip Time) 정보에 기반하여 통신 경로를 결정한다. 또한, ACM(Adaptive Coding and Modulation)을 고려한 계층교차적 자원할당 메커니즘과 CAC(Call Admission Control)를 사용하는 것을 제시하였다. 그리고 N GEO(Non-Geostationary Earth Orbit) 시스템에서의 이동성 문제를 다루었으며, 지상망과 위성망 사이의 멀티캐스트 서비스 통합을 위해 IMS(IP Multimedia Subsystem)를 솔루션으로 제시하였다<sup>[10]</sup>. Kwang-Chun Go 등은 지상망과 위성망을 연동하기 위한 라우팅 시나리오들을 분류 기준에 따라 제시하고, 그에 따른 장단점을 분석 및 평가하였다. ASBR(AS Boundary Router)만 위성 링크를 가지고 AS 내부라우터, 즉 IR(Internal Router)은 위성 링크를 가지지 않는 것으로 가정하였다. 대신, 라우팅 경로를 짧게 하기 위해서는 위성단말이 IR을 가지는 것이 좋다고 평가하였다. 또한, NCC 중심의 스타 토폴로지를 고려하여 AS 간 라우팅 경로를 짧게 하기 위해 NCC가 BGP<sup>[11]</sup> 라우터를 가져야 한다는 의견을 제시하였다<sup>[12-14]</sup>.

L. Wood 등은 위성 간 링크(ISL : Inter-Satellite Link) 및 ISL을 활용하는 위성군(constellation)에서의 라우팅 방안에 대한 연구 결과를 발표하였다. LEO(Low Earth Orbit) 위성은 매우 빠른 속도로 움직이기 때문에 토폴

로지가 빨리 계속하여 바뀌므로 라우팅 관점에서 많은 이슈들이 발생한다<sup>[15]</sup>. 이외에도 IP 기반의 LEO 위성 네트워크를 위해 몇몇 라우팅 알고리즘들이 제안되었다<sup>[16-18]</sup>. 또한, IP 기반의 위성 네트워크와 관련된 몇몇 이슈들이 고찰되었으나, 통합 환경에서 위성망은 지상망과 다른 주소 체계를 가진 별도의 AS로 구분하는 것을 전제로 하고 있다<sup>[19-21]</sup>.

이상과 같이, 지상망과 위성망 연동을 위한 연구 사례들은 있으나, 네트워크 구조 및 라우팅 방식에 따른 차이를 극복하고 AS 내에서 OSPF 연동을 통해 두 네트워크를 통합한 연구 결과는 찾아보기 어렵다.

## 3. 네트워크 통합 방안

본 장에서 우리는 네트워크 구조와 라우팅 방식이 상이한 지상 무선 백본망과 정지궤도 위성 통신망을 AS 단위로 통합하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

### 3.1 통합 대상이 되는 지상망 및 위성망 구조

본 논문에서 고려한 지상 무선 백본망은 신뢰성을 위해 무선 링크가 격자형으로 연결되어 PTP 모드로 운용된다. 또한, 운용 환경에 적합한 라우팅 비용함수<sup>[5]</sup>를 적용하여 표준 OSPF 프로토콜 상에서 동작한다. 하나의 AS 내에서는 별도로 Area를 구분하지 않는다. Fig. 1은 하나의 AS 내에서 지상 무선 백본망의 구조를 보여주고 있다. ASBR은 AS 경계에 위치하는 라우터로서 다른 AS의 ASBR과 연결된다. 라우팅 정보와 사용자 트래픽 모두는 동일한 격자형 링크 상에서 유통된다.

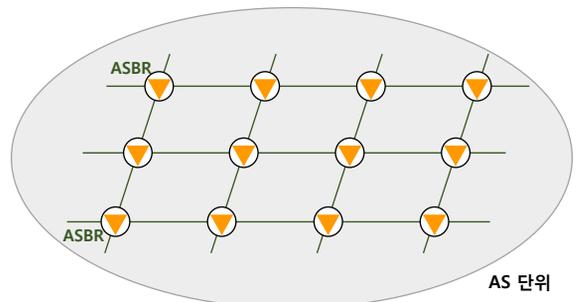


Fig. 1. Structure of terrestrial wireless backbone network

한편, 본 논문에서 고려한 위성 통신망은 분산망 개념을 도입하였다. 전체 위성망은 다수의 분산망으로

나누어지고, 각 분산망은 Hub-Spoke 구조의 스타형과 메쉬형이 혼합된 오버레이 네트워크이다. 분산망 내의 모든 위성단말들은 위성 링크의 특성상 메쉬형으로 연결되어 1홉 통신이 가능하다. 다른 분산망의 노드와 통신하기 위해서는 Hub 단말을 경유해야 한다.

차세대 위성 통신망은 IP 주소 체계를 도입하고 위성단말에 라우터를 장착하여 운용할 것이다. 이로써 IP 주소를 사용하는 다양한 응용 체계들을 효과적으로 지원하고 기존 네트워크들과의 통합도 원활하게 된다. 위성 통신망은 다 대역 및 다 링크를 사용할 수 있으므로 라우팅 관점에서 운용 환경에 적합한 최적의 경로(대역 및 링크)를 선택할 수 있을 것이다. 라우터는 ARP(Address Resolution Protocol)<sup>[22]</sup>의 처리가 가능하므로 위성단말에 연결되는 LAN들은 서브넷 도메인이 다르더라도 위성 링크로 직접 연결될 수 있다.

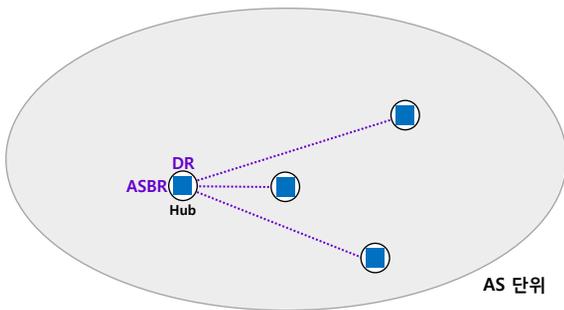


Fig. 2. Structure of satellite network

위성 통신망의 내부 라우팅 프로토콜로는 가장 널리 사용되고 있는 OSPF를 사용하되, 위성 링크의 특성을 고려한 메트릭을 반영하여 새로운 비용함수를 고안할 예정이다. 위성 통신망에서는 분산망이 하나의 관리 단위이자 AS가 되므로 위성망의 AS 구분은 지상망과 동일하게 되고 Area는 나누지 않는다. 하지만, 지상 무선 백본망과는 다르게 단일 AS 내의 라우팅 정보는 Fig. 2에서 보는 것처럼 DR을 중심으로 한 스타형 토폴로지 상에서 NBMA 모드로 교환된다. 이는 라우팅 오버헤드를 최소화하기 위함이다. 유의할 점은 사용자 트래픽의 경우, 그림에는 표시하지 않았지만 노드들 간 1:1로 연결되는 메쉬형 구조로 유통된다는 것이다. ASBR은 위성 통신망의 다른 AS와 연결된다. 하나의 AS 내에는 하나의 DR이 있으며, 필요에 따라 BDR (Backup DR)도 함께 운용한다. 분산망의 Hub 단말이 DR로 지정됨과 동시에 ASBR로 운용될 것이다.

### 3.2 제안하는 라우팅 연동 구조

각 통신체계의 특성을 고려하여 설계된 두 개의 네트워크는 연결 구조와 라우팅 프로토콜 운용 방식이 서로 상이하므로, 두 체계를 동시에 운용할 때에는 단순한 연결만으로 논리적인 통합을 구현하기 어렵다. 지상 무선 백본망에서 운용되는 PTP 모드는 라우터들끼리 1:1로 연결되는 구조이다. 하나의 라우터는 멀티캐스트를 이용해 다른 모든 라우터들로 정보를 전송하고, 수신한 라우터는 멀티캐스트를 이용해 또 다시 다른 모든 라우터들로 전송한다. 모든 라우터들이 1:1로 직접 연결될 경우,  $n$ 이 노드의 개수라고 할 때  $\{n \times (n-1)/2\}$ 개의 인접관계가 형성되어  $n$ 이 커질수록 급격하게 증가되어 네트워크 내 오버헤드가 매우 커지게 된다. 또한, OSPF는 인접한 라우터의 상태 정보를 확인하기 위해 메시지를 교환하고 타이머를 유지하게 되는데, 지상 무선 백본망에서는 신뢰성 확보 차원에서 Hello interval과 Dead interval을 매우 짧게 설정하여 운용한다. 짧은 메시지 교환 주기와 타이머 설정은 네트워크 내에 더욱 많은 오버헤드를 야기하지만, 특정한 노드/링크가 단절될 경우에 신속히 이를 인지하여 대체 경로를 제공할 수 있게 되는 것이다.

이에 반해, 위성 통신망에는 지상 무선 백본망과 같은 연결 구조 및 라우팅 운용 방식을 적용할 수 없다. 많은 위성단말들은 하나의 위성체를 공유하여 정보를 교환하므로 주파수의 효율성 문제가 상대적으로 중요하다. 즉, 위성 통신망에서 단말들이 사용할 수 있는 주파수 자원은 지상 무선망의 단말들에 비해 더욱 제한되므로, 분산망 단위로 자원을 관리하여 유연성을 확보해야 하며, 사용자 트래픽이 아닌 정보교환 오버헤드로 인한 자원낭비를 최소화해야 한다. 이를 위해 위성 통신망은 분산망을 단위로 하여 Hub-Spoke 구조를 채택함으로써 라우터들은 DR을 중심으로 연결된다. 모든 라우터들은 DR로만 정보를 전송하고, DR은 멀티캐스트를 이용해 다른 모든 라우터들로 전달하는 것이다. 이 구조에서는  $(n-1)$ 개의 인접관계가 형성되기 때문에  $n$ 이 커지더라도 증가량은 미미하다. 즉, 이 구조는 라우팅 정보교환으로 인한 오버헤드 최소화에 장점이 있다.

Fig. 3은 본 논문에서 제안하는 통합 방안을 물리적인 연결 구조 측면에서 보여주고 있다. 하나의 AS 내에서 위성 통신망과 지상 무선 백본망이 서로 연결되어 있는 것으로서 Fig. 2와 Fig. 3이 완전히 겹쳐진 모양이다. 실선은 지상 무선 백본망에서 라우팅 정보와

사용자 트래픽이 유통되는 무선 링크를 나타내고, 점선은 위성 통신망에서 라우팅 정보가 교환되는 무선 링크를 나타낸다. 통합하는 과정에서 새롭게 추가된 파선은 지상 무선 백본망의 라우터에 위성 통신망의 라우터가 유선으로 연결되는 링크이다.

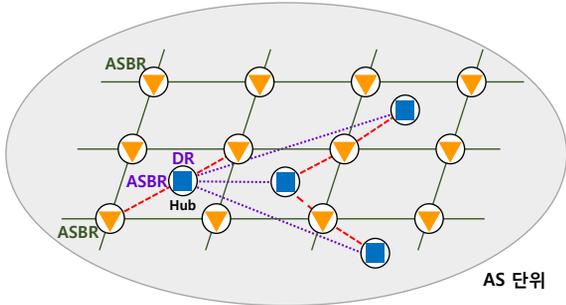


Fig. 3. Structure of integrated network in an AS

이와 같이 물리적으로 연결한 두 개의 네트워크가 하나의 전송체계처럼 동작되도록 하기 위해 우리는 논리적인 연동 방안도 함께 제시한다. 일반적으로, 하나의 AS 내부에서는 단일 라우팅 프로토콜이 동일 함수로 경로 비용을 계산하고 같은 방식으로 정보를 교환한다. 이에 반해, 우리는 표준 OSPF를 이용하지만 라우팅 비용함수가 다르고 정보교환 방식도 서로 다른 두 개의 네트워크를 하나의 AS 내에서 물리적으로 연결하였다. 따라서, 라우팅 알고리즘 관점에서 운용 모드 설계 및 추가 기능 구현이 필요하다. 위성망 단말에 장착된 라우터의 경우, 다른 위성 라우터와 연결된 포트는 NBMA 모드로, 지상망 라우터와 연결된 포트는 PTP 모드로 운용하는 것을 제안한다. 또한, 위성망은 여러 주파수 대역을 사용하고 링크 종류도 다양하므로, 각각의 대역 및 링크를 개별 경로로 인식하고 대역/링크별로 경로비용을 계산하여 표준 OSPF에 전달하는 기능을 모델과 라우터 사이에 구현한다.

이상과 같이, AS 단위로 지상 무선 백본망과 위성 통신망의 통합이 가능하게 되었다. 라우터는 비용을 기반으로 한 동적 라우팅 알고리즘을 통해 전체 통합망 상에서 최적의 경로를 선택할 것이며, 링크 단절 시에는 대체 경로를 제공할 것이다. 사용자 관점에서는 대용량 전송이 가능한 신뢰성 있는 지상 무선 백본망과 광역의 장거리 전송과 빠른 링크 개통이 가능한 위성 통신망을 하나의 네트워크 체계로서 사용할 수 있게 된 것이다.

#### 4. 실험

본 장에서는 지상 무선 백본망과 위성 통신망을 제안하는 방식으로 통합했을 때 라우팅 프로토콜에 의해 원활하게 연동되는지 시뮬레이션을 통해 검증하고자 한다. 이를 위해 우리는 수렴시간(convergence time)과 라우팅 오버헤드를 분석하고, 링크 단절 시 우회 경로로 트래픽이 유통되는지 확인할 것이다.

##### 4.1 시뮬레이션 환경

지상 무선 백본망과 위성 통신망이 혼재된 네트워크가 단일 Area로 하나의 AS를 구성하는 경우를 가정하여 모델링하고 분석하였다. 이를 위한 시뮬레이션 도구는 Riverbed Modeler를 사용하였다.



Fig. 4. Network topology for simulations

Fig. 4는 시뮬레이션을 위한 네트워크 구성도로서 노드들은 라우터가 장착된 것들로 한정하였다. 지상 무선망의 경우, 코어 라우터가 격자형으로 연결되어 백본을 구성하고 있으며 코어 라우터에 액세스 라우터가 연결되어 있다. 위성 라우터가 액세스 라우터에 유선으로 연결됨으로써 지상 무선 백본망과 위성 통신망은 상호 연결되어 하나의 네트워크로 통합되어 있다.

Table 1은 시뮬레이션을 위한 환경 구성에 관한 정보와 관련 파라미터들을 정리한 것이다. 전송 속도의 경우, 지상 무선 백본망의 링크는 구간별로 다양하게 설정하였으며 위성 통신망의 링크는 평균 대역폭을

고려하여 균일한 속도로 설정하였다. 라우팅 비용함수의 경우, 위성 통신망은 지상 무선 백본망과 동일하게 참고문헌<sup>[5]</sup>에서 제시한 함수를 적용하였다. 다만, 위성 링크는 단방향 지연시간이 250 msec로서 지상망 링크보다 훨씬 길기 때문에 상대적으로 큰 값을 설정하였다. 링크의 상태는 강우감쇄, 재밍 등에 의한 영향으로 200초마다 10 %의 확률로 변경되는 것을 가정하였다. 지상 무선 백본망은 신뢰성을 높이기 위해 OSPF의 Hello interval과 Dead interval을 각각 1초와 2초로 짧게 설정하였고, 위성 통신망은 라우팅 오버헤드를 줄이기 위해 각각 40초와 120초로 길게 설정하였다.

Table 1. Configuration parameters for simulations

구분	지상 무선망	위성 통신망	
네트워크 규모	Area 구분이 없는 1개 AS		
단말 개수	코어 라우터 18개 액세스 라우터 28개	위성 라우터 28개	
전송 속도	2/8/16/34/45 Mbps	2 Mbps	
비용 계산	대역폭, BER, 지연시간 (latency = 1) 고려	대역폭, BER, 지연시간 (latency = 10) 고려	
링크 상태 변경 주기	200초		
링크 상태 변경 확률	10 %		
OSPF 설정	Hello interval	1초	40초
	Dead interval	2초	120초

4.2 실험 결과

수렴시간은 네트워크의 상태 변화가 감지된 시점부터 모든 라우터들이 링크 상태 정보를 교환하고 라우팅 테이블의 갱신을 완료하기까지 소요되는 시간이다. 네트워크가 일정한 시간 내에 수렴된다는 것은 라우팅 연동이 정상적으로 이루어진다는 것을 의미한다.

Fig. 5는 200초마다 10 %의 확률로 링크 상태가 변하는 환경에서 네트워크 수렴시간을 보여주고 있다. 각각의 점은 200초마다 수렴이 이루어지는데 걸린 시간을 나타낸다. 시뮬레이션 초기에 토폴로지 정보를

처음으로 구성할 때에는 수렴시간이 오래 걸렸지만, 네트워크가 안정화된 이후에는 수렴시간이 길지 않고 일정한 값들로 나타났다. 통합망의 링크 개수가 단독망의 링크 개수보다 훨씬 많기 때문에 수렴시간 또한 통합망에서 더욱 길었다. 통합망이 더 짧은 경우가 두 번 발생하였는데, 이는 링크 상태가 확률에 의해 변경되므로 해당 시점에는 통합망에서 링크 변화가 더욱 적게 나타난 확률적 영향이다. 이러한 변동성을 줄이고 수렴시간에 대한 추이를 파악해 보기 위해 누적 이동평균(cumulative moving average)을 선으로 나타내었다. 각각의 선은 시뮬레이션 시작부터 해당 시점까지 수렴시간들의 누적값을 수렴 횟수로 나누어 평균을 표시한 것이다. 이를 통해 네트워크 운용 시간이 길어질수록 수렴시간은 일정한 값을 나타내게 된다는 것을 알 수 있다. 1시간의 시뮬레이션에서는 지상 무선 백본망 단독 운용 시 13.04초, 지상 무선 백본망과 위성 통신망 통합 운용 시 16.18초로 나타나 약 3초(24 %)의 증가를 보였다. 네트워크 초기화 상태를 제외하고 안정화 이후 단계에서만 보면 약 1.7초(12 %)가 증가하였는데, 이는 네트워크 규모 즉 라우터 개수의 증가치(60 %)에 비해 미미한 수준이라고 할 수 있다.

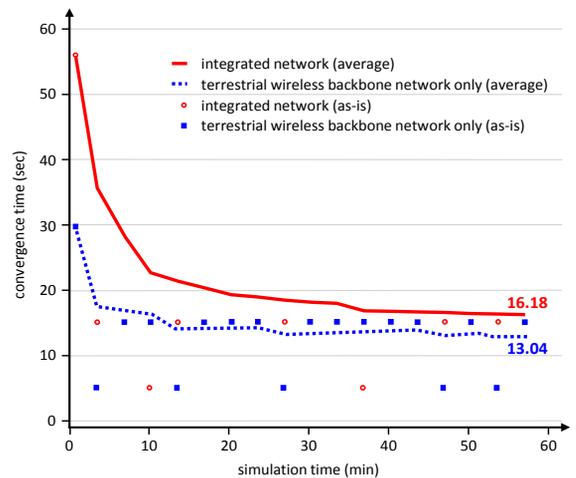


Fig. 5. Convergence time during simulation

Fig. 6은 링크 상태가 변하는 확률을 5 %부터 50 %까지 증가시키면서 수렴시간의 변화를 나타낸 그래프로서, 시뮬레이션 시간 전체 동안에 수렴이 발생할 때마다 측정된 소요시간들을 평균하여 나타낸 값이다. 링크 상태를 점점 더 빈번하게 변경시키면서 수렴시

간의 추이를 확인할 결과, 링크 상태 업데이트로 인해 증가하지만 일정한 수준을 유지한다는 것을 알 수 있다. 이상과 같은 수렴시간 분석을 통해, 지상 무선 백본망과 위성 통신망은 상호 연동이 가능하며 수렴시간의 증가는 위성망 라우터 개수의 증가에 비해 미미한 수준이라는 것을 확인하였다.

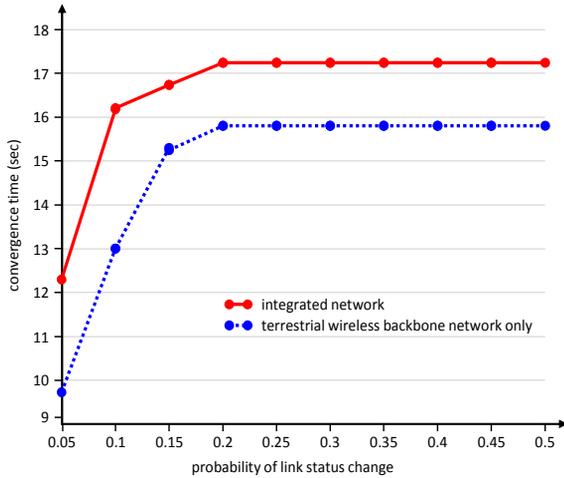


Fig. 6. Convergence time according to the probability of link status change

라우팅 오버헤드는 라우팅 프로토콜에 의해 발생하는 상태 정보 트래픽의 양으로서, 지상 무선 백본망에 위성 통신망이 통합될 때 라우팅 정보에 의한 트래픽 부하가 어느 정도 증가하는지 예측해 보고자 한다.

Fig. 7은 라우팅 오버헤드를 보여주기 위한 것으로서, 네트워크 수렴 과정이 한번 진행되는 동안에 네트워크 전체에 흐르는 라우팅 정보의 총 양을 표시한 것이다. 두 네트워크가 통합되지 않고 지상 무선 백본망이 단독으로 운용될 경우에는 오버헤드 총합이  $1,935.2 \pm 92.462$  Kbps이다. 지상 무선 백본망과 위성 통신망이 연동되었을 경우에 지상 무선 백본망 내의 오버헤드 총합은 통합 전보다 약 63.9 Kbps(3%) 증가하여  $1,999.2 \pm 72.762$  Kbps로 나타났다. 이는 네트워크 규모가 커지고 라우터 개수가 많아진 것에 따른 예측 가능한 현상이다. 참고로, 위성 통신망 내부에 발생한 라우팅 오버헤드의 총합은  $769 \pm 17.4$  Kbps로서 지상 무선 백본망에 비해 상대적으로 적다. 이는 위성 통신망이 지상 무선 백본망과는 다르게 DR 중심의 NBMA 모드로 정보를 교환했기 때문이다.

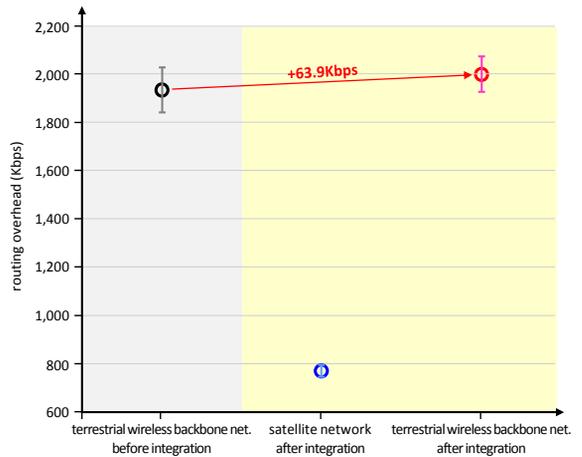


Fig. 7. Routing overhead throughout network convergence duration

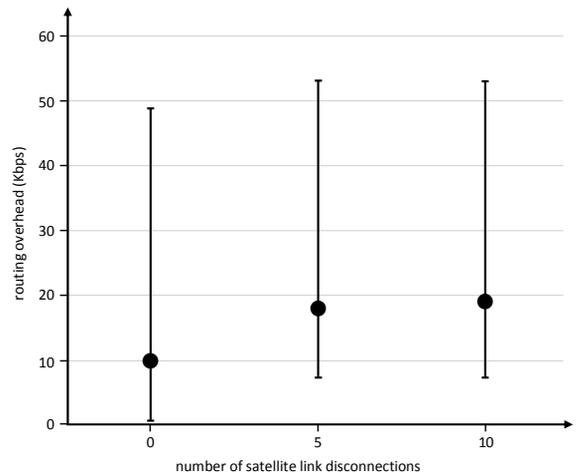


Fig. 8. Routing overhead according to the number of satellite link disconnections

Fig. 8은 위성 링크의 단절 개수를 증가시키면서 라우팅 오버헤드를 측정된 결과로서, 링크 단절이 발생하였을 때 네트워크 내에서 유통되는 라우팅 정보량을 전체 링크 개수로 나눔으로써 단일 링크 상의 평균 오버헤드를 나타낸 것이다. 위성 링크 단절이 없는 경우에는 평균 10 Kbps이었으나, 단절 개수가 5개일 때는 18 Kbps, 10개일 때는 19 Kbps로 증가하였다. 링크 단절 개수가 증가할수록 업데이트해야 하는 정보량이 늘어나므로 하나의 링크에 흐르는 라우팅 오버헤드도 증가하지만 일정한 수준을 유지한다는 것을 알 수 있다.

이상의 분석 결과를 통해, 지상 무선 백본망에 위성 통신망이 연동되더라도 라우팅 오버헤드의 증가 비율은 위성망 라우터 개수의 증가 비율에 비해 크지 않다는 것을 알 수 있다.

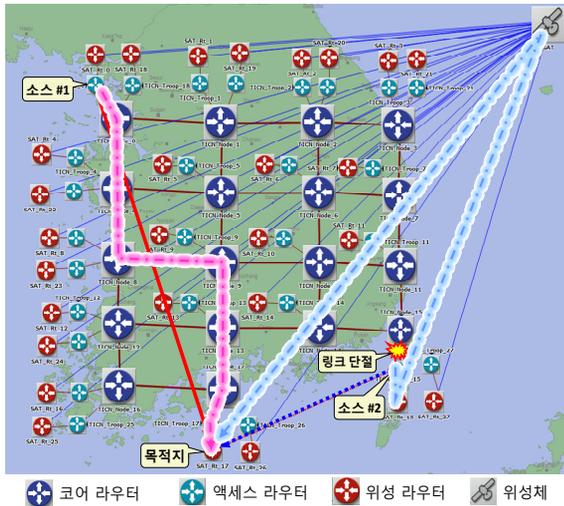


Fig. 9. Alternative path in condition of link down

마지막으로, 트래픽 전송 도중에 경로 상의 어떠한 링크가 단절될 경우, 대체 경로로 트래픽이 우회되어 전달되는지 확인해 보았다. Fig. 9에서 왼쪽 상단에 있는 소스 #1(액세스 라우터)에서 중간 하단에 있는 목적지(위성 라우터)로 일정한 양의 트래픽을 전송한다. 그리고 오른쪽 하단에 있는 소스 #2(액세스 라우터)에서도 중간 하단의 목적지(위성 라우터)로 트래픽을 전송한다. 다만, 소스 #2에서 지상 무선 백본망의 코어 라우터로 연결되는 구간은 특정한 시점에 링크가 단절되는 상황을 가정한다. 실험 결과, 소스 #1에서는 인접한 코어 라우터를 통해 지상 무선 백본망으로 트래픽이 전송되어 목적지에 도달하는 것을 확인하였다. 소스 #2에서는 백본과의 연결이 끊어지는 시점에 인접한 위성 라우터로 트래픽이 우회되어 위성 링크를 경유하여 목적지로 전달되는 것을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서 우리는 격자형으로 연결되어 PTP 모드로 라우팅이 운용되는 지상 무선 백본망에 DR 중심의

NBMA 모드로 라우팅이 운용되는 정지궤도 위성 통신망을 통합하는 방식을 제안하였다.

네트워크 구조와 라우팅 운용 방식이 상이한 두 개의 네트워크가 연결되어 라우팅 측면에서 원활하게 연동되는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 실험을 통해 라우팅 정보교환이 가능하고 일정한 시간 내에 네트워크 수렴이 이루어지는 것을 보였다. 그리고 연동으로 인한 수렴시간 및 오버헤드의 증가는 네트워크 규모의 증가에 비해 크지 않고 수용 가능한 정도였다. 또한, 특정 네트워크의 링크가 단절될 경우에는 동적 라우팅 프로토콜에 의해 대체 전송수단 및 경로가 제공됨을 확인하였다.

향후에는 위성 통신망의 특성을 고려한 라우팅 비용함수를 고안해야 하겠으며, 다양한 시나리오를 통해 라우팅 알고리즘 및 통합망의 성능을 분석할 필요가 있다.

## References

- [1] J. Moy, "OSPF Version 2," IETF RFC 2328, April 1998.
- [2] Jongheon Lee, Moonkyu Choi, Yongcheol Kim, and Seung Hyung Rhee, "A Study on Tactical Routing for Wireless Tactical Information Communication Networks," Proc. of KICS Winter Conference, pp. 94-95, Yongpyeong, Feb. 22-23, 2010.
- [3] Seung Hwan Lee, Jong Heon Lee, Hoon Seop Lee, and Seung Hyong Rhee, "A Study on OSPF for Active Routing in Wireless Tactical Communication Network," J-KICS, Vol. 35, No. 12, pp. 1181-1818, Dec. 2010.
- [4] Sung Sook Kook, Moon Jeong Chang, Mee Jeong Lee, Je Hyun Jun, Tae Wan Kim, Jeung Won Choi, and Bong Soo Roh, "A Study on OSPF for Wireless Tactical Communication Networks," Journal of KIISE, Vol. 37, No. 2, pp. 109-121, April 2010.
- [5] Dong Wook Shin, Seung Hwan Lee, Seung Hyong Rhee, Hyung-Joo Lee, Mi-Jeong Hoh, Jeung-Won Choi, Sang-heon Shin, Tae-Wan Kim, and Ho-Won Moon, "Study on OSPF Routing Cost Functions for Wireless Environments," J-KICS, Vol. 37C, No. 9, pp. 829-840, Sep. 2012.

- [6] Hong-jun Noh, Kwnag-chun Go, Kyu-hwan Lee, Jae-hyun Kim, Jae-sung Lim, and Ye-jin Song, "Resource Allocation and IP Networking for Next Generation Military Satellite Communications System," J-KICS, Vol. 38C, No. 11, pp. 939, 954, Nov. 2013.
- [7] Lee Yun Seong, Noh Hong Jun, Lim Jae Sung, Woo Byung Seok, and Jo Byung Gak, "A Study of Dynamic IP Routing Protocol for Satellite and Terrestrial Integrated Military Tactical Networks," Proc. of KICS Summer Conference, pp. 674-675, Jeju, June 25-27, 2014.
- [8] Barry Evans, Markus Werner, Erich Lutz, Michel Bousquet, Giovanni E. Corazza, Gerard Maral, Robert Rumeau, and Erina Ferro, "Integration of Satellite and Terrestrial Systems in Future Multimedia Communications," IEEE Wireless Communications, Vol. 12, No. 5, pp. 72-80, Oct. 2005.
- [9] Jun Sun, Mu-Cheng Wang, Lorraine Prior, Terrence Gibbons, and Jeff Wysocarski, "Dynamic Routing with Link State Information in ADNS and Future SATCOM Networks," Proc. of the 28th IEEE Conference on Military Communications(MILCOM 2009), pp. 1226-1232, Boston, MA USA, Oct. 18-21, 2009.
- [10] Tarik Taleb, Yassine Hadjadj-Aoul, and Toufik Ahmed, "Challenges, Opportunities, and Solutions for Converged Satellite and Terrestrial Networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 18, No. 1, pp. 46-52, Feb. 2011.
- [11] Y. Rekhter and T. Li, "A Border Gateway Protocol 4(BGP-4)," IETF RFC 1771, March 1995.
- [12] Kwang-Chun Go and Jae-Hyun Kim, "Design of Routing Scenarios for Terrestrial Network Interworking with Satellite Network," IEICE Technical Report SANE2012-93, pp. 207-210, 2012.
- [13] Kwang-Chun Go and Jae-Hyun Kim, "Design of Network Architecture for Routing in Terrestrial and Satellite Network," Proc. of the International Global Navigation Satellite Systems Society(IGNSS 2013), Queensland, Australia, July 16-18, 2013.
- [14] Kwang-Chun Go, Jae-Hyun Kim, Byong-Gak Jo, and Ki-Keun Kim, "Employment of Routing Protocol for Converged Satellite and Terrestrial Networks," Proc. of IEEE Summer Conference, Vol. 36, No. 1, pp. 513-515, Jeju, July 3-5, 2013.
- [15] L. Wood, A. Clerget, I. Andrikopoulos, G. Pavlou, and W. Dabbous, "IP Routing Issues in Satellite Constellation Networks," International Journal of Satellite Communications, Vol. 19, No. 1, pp. 69-92, Jan./Feb. 2001.
- [16] Y. Hashimoto and B. Sarikaya, "Design of IP-Based Routing in a LEO Satellite Network," Proc. of the 3rd ACM/IEEE International Workshop on Satellite-Based Information Services(WOSBIS 1998), pp. 81-88, Dallas, TX USA, Oct. 30, 1998.
- [17] E. Ekici, I. F. Akyildiz, and M. D. Bender, "A Distributed Routing Algorithm for Datagram Traffic in LEO Satellite Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 9, No. 2, pp. 137-147, April 2001.
- [18] T. R. Henderson and R. H. Katz, "On Distributed, Geographic-Based Packet Routing for LEO Satellite Networks," Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference(GLOBECOM 2000), Vol. 2, pp. 1119-1123, San Francisco, CA USA, Nov. 27 - Dec. 1, 2000.
- [19] Yurong Hu and Victor O. K. Li, "Satellite-Based Internet: A Tutorial," IEEE Communications Magazine, Vol. 39, No. 3, pp. 154-162, March 2001.
- [20] P. Narvaez, A. Clerget, and W. Dabbous, "Internet Routing over LEO Satellite Constellations," Proc. of the 3rd ACM/IEEE International Workshop on Satellite-Based Information Services(WOSBIS 1998), Dallas, TX USA, Oct. 30, 1998.
- [21] L. Wood, A. Clerget, I. Andrikopoulos, G. Pavlou, and W. Dabbous, "IP Routing Issues in Satellite Constellation Networks," International Journal of Satellite Communications, Vol. 19, No. 1, pp. 69-92, Jan./Feb. 2001.
- [22] David C. Plummer, "An Ethernet Address Resolution Protocol: Or Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware," IETF RFC 826, Nov. 1982.