

위성간 링크를 가지는 다중 홉 저궤도 위성망에서 멀티 클래스 지원을 위한 경로 배정 기법

A Routing Scheme for Multi-Classes in Multi-hop LEO Satellite Networks with Inter-Satellite Links

李奉周*, 金永川**

Bong-Ju Lee*, Young-Chon Kim**

요 약

본 논문에서는 위성간 링크를 가지는 다중 홉 저궤도 위성망에서 망자원을 효율적으로 이용하면서 링크 핸드오버의 발생을 제한 할 수 있는 경로 배정 기법을 제안한다. 제안한 경로 배정 기법은 예측 가능한 저궤도 위성 시스템의 위치 변화와 지상 단말기의 지리적 위치 그리고 호 지속 시간의 통계정보를 이용한다. 제안한 알고리즘의 성능 분석을 위하여 시뮬레이션을 수행하여 평균 링크 핸드오버 수, 호의 차단 확률과 절단 확률 그리고 망의 이용률을 기존의 경로 배정 기법과 비교·분석하였다.

Abstract

This paper proposes a routing scheme for multi-hop LEO satellite networks with inter-satellite links aiming for reducing the number of link handovers while keeping the efficient use of network resource. The proposed routing scheme controls the link handovers by taking account of the deterministic LEO satellite system dynamics, geographical location of a ground terminal and statistic information of call duration. The performance of the proposed routing scheme has been evaluated and compared with previous routing schemes in terms of average number of link handovers during a call, the call blocking and dropping probability, and the network utilization.

Key-Words: LEO satellite networks, handover, inter-satellite link routing, multi-classes

I. 서 론

산업이 고도화되고 인간의 활동범위가 넓어짐에 따라 위치와 시간의 제약이 받지 않는 다양한 통신 서비스에 대한 사용자의 요구가 증가하고 있다. 특히 지

역적으로 이동 통신 서비스를 제공하는 지상의 이동 통신망의 단점을 보완하고 전 세계를 하나의 통신권역으로 묶기 위해 위성을 이용하려는 시도가 진행되

* 全北大學校 映像工學科
(Dept. of Image Eng. Chonbuk National Univ.)

接受日: 2003年 3月 20日 修正完了日: 2003年 7月 25日

** 全北大學校 컴퓨터工學科
(Dept. of Computer Eng. Chonbuk National Univ.)
※ 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2002-002-D00140)

고 있다. 위성 통신망은 동보성, 광역성, 회선 설치의 유연성, 내재해성 등 위성 고유의 특성으로 인하여 미래의 초고속 정보 통신 기반에서 중요한 역할을 수행할 것으로 기대된다. 특히 저궤도 위성 (LEO, Low Earth Orbit)은 종래의 정지 궤도 위성 (GEO, Geostationary Orbit)과는 달리 낮은 궤도에 위치하여 전파 지연 시간이 작고, 신호를 송출하는데 요구되는 출력이 낮아 개인 휴대 통신 서비스를 가능하게 한다. 이에 따라 저궤도 위성을 이용한 새로운 통신 시스템에 대한 연구개발이 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.[1],[2]

저궤도 위성 통신 시스템은 지구 전체를 서비스하기 위하여 수십 또는 수백 개의 위성들로 구성된다. 이들 위성은 양극을 지나는 궤도를 따라 매우 빠른 속도로 이동한다. 지상망으로부터 독립적인 위성 통신망 구성을 위해 위성은 위성 간 링크 (ISL, Inter-Satellite Link)를 가지고 있으며 이를 유지하기 위하여 지속적으로 변하는 상대 위성의 위치를 추적하고 안테나의 방향을 조정한다. 이때 궤도의 진행이 서로 반대인 이음새 (seam) 영역과 궤도의 교차가 일어나는 극 (pole) 영역에 위치한 위성 사이의 ISL은 매우 빠른 상대 위치 변화로 인해 영구적으로 또는 임시적으로 단절 (switch-off) 된다. 이러한 위성의 위치와 ISL의 연결 패턴 변화는 저궤도 위성망의 연결 구조를 지속적으로 변화시킨다. 위성망의 지속적인 연결 구조 변화는 진행 중인 호에 대한 연속성 제공을 위한 많은 수의 핸드오버 (Handover)를 야기하며 망에 시그널링 및 프로세싱 부담을 증가시킨다. 또한 충분한 자원을 가진 새로운 경로를 찾을 수 없는 경우에 핸드오버는 실패하고 진행 중인 호는 절단 (call drop) 된다. 이는 신규 호의 차단 (call block) 보다 사용자에게 대한 서비스 품질(QoS, Quality of Service) 측면에서 심각한 영향을 미친다.[3]

일정한 속도로 정해진 궤도를 따라 움직이는 위성의 이동과 이에 따른 망의 연결 구조 변화에 의해 발생하는 저궤도 위성망에서의 핸드오버는 상대적으로 불규칙적인 단말기의 이동에 따라 발생하는 지상 셀룰러 망에서의 핸드오버와는 구별된다. 때문에 저궤도 위성망에서는 진행 중인 호에 가중치를 두어 핸드오

버 실패 확률을 줄이려는 지상 셀룰러 망에서 연구와 함께 예측 가능한 위성의 이동 특성을 이용하여 연결 설정 초기에 적절한 경로를 선택함으로써 핸드오버의 발생을 제어하려는 연구들이 이루어져 왔다.

참고문헌 [4]는 링크 핸드오버 (LH, Link Handover)의 발생을 줄이기 위해 경로 배정 (routing)에 있어 링크 단절까지의 시간이 가장 긴 ISL을 우선적으로 선택하는 경로 배정 기법을 제안하였다. 하지만 링크 단절까지의 시간이 가장 긴 ISL의 우선적 선택으로 인해 특정 링크로의 트래픽 편중화가 발생하게 된다. 이는 부족한 링크 용량으로 인한 핸드오버 실패와 진행 중인 호의 절단 확률을 증가시키며 전체 망을 효율적으로 사용하지 못 한다. 참고문헌 [5]는 다중 홉 저궤도 위성망에서 연결의 링크 핸드오버의 발생 횟수를 최소화하며 중단 간 지연에 대한 QoS 요구를 만족하기 위한 경로 배정 기법을 제안하였다. 참고문헌 [6]은 목적 확률값을 이용하여 호가 링크 핸드오버를 겪지 않고 호의 종료나 위성 핸드오버에 의해서 종료될 수 있는 경로를 선택하는 확률적 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

본 논문에서는 전체 망을 효율적으로 사용하며 링크 핸드오버의 발생을 제한 할 수 있는 경로 배정 기법을 제안한다. 제안한 기법은 예측 가능한 저궤도 위성의 위치 변화, 지상 단말기의 위치 정보, 그리고 호의 서비스 시간에 대한 확률분포로부터 링크 핸드오버 회피를 위한 ISL의 최소 요구 유지 시간을 구하고 이를 고려하여 작성된 가상의 토폴로지를 이용하여 연결 경로를 설정한다. 제안한 기법의 성능 분석을 위해 시뮬레이션을 수행하여 평균 링크 핸드오버 수, 신규호의 차단 확률, 진행 중인 호의 절단 확률, 그리고 망의 이용률을 기존의 기법과 비교분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 본 논문에서 고려한 네트워크 모델을 기술하고, III장에서 제안한 경로 배정 기법에 대하여 기술한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법의 성능을 평가하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 네트워크 모델

본 논문에서 고려한 저궤도 위성망의 위성단

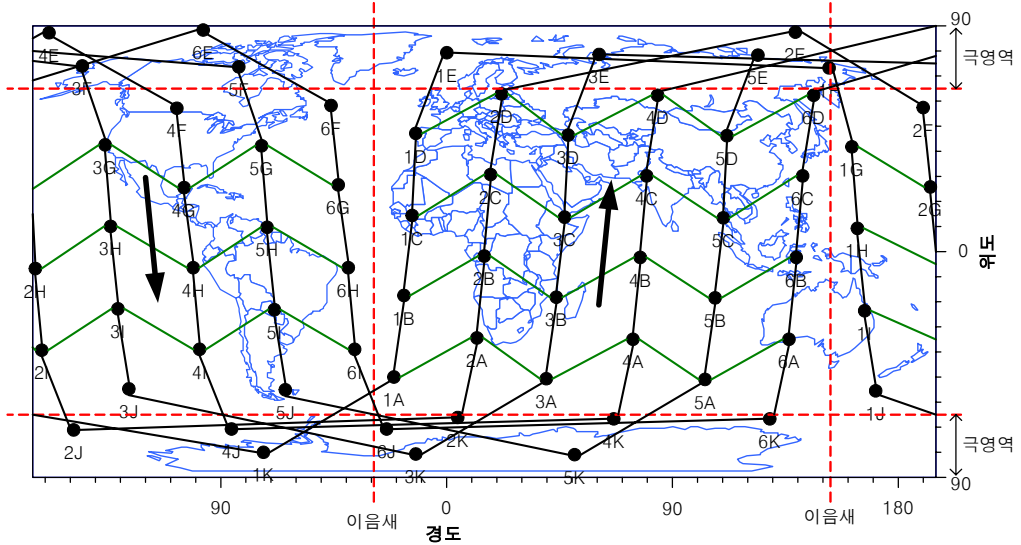


그림 1. 저궤도 위성망의 ISL 토폴로지 스냅샷
 Fig. 1 ISL topology snapshot of LEO satellite networks

(satellite constellation)은 그림 1과 같이 양 극 (North/South pole)을 지나는 6개의 궤도를 따라 공전하는 총 66개의 위성으로 이루어진 이리듐 (Iridium)과 같은 구조를 가진다. 위성은 매우 빠르게 이동하여 약 110분에 지구를 한바퀴 순회하며 지상의 한 지점에서 특정 위성이 가시 위치에 있을 수 있는 최대 시간은 약 10분이다. 각각의 위성은 위치에 따라 두 개의 궤도 내 ISL (Intra-orbit ISL)과 하나 또는 두 개의 궤도 간 ISL (Inter-orbit ISL)을 가지며, 고위도 지방에 위치하면 궤도 간 ISL의 사용을 일시적으로 중지한다.

저궤도 위성의 서비스 영역은 지상 단말기와 위성 간의 통신 링크인 상하향 링크 (UDL, Up/Down Link)를 위한 스팟빔 (spotbeam) 안테나의 지향 방법에 따라 위성-고정 서비스 영역 (SFF, Satellite Fixed Footprint)과 지상-고정 서비스 영역 (EFF, Earth Fixed Footprint)으로 구분된다. SFF는 스팟빔의 방향이 지구의 중심을 향하여 고정되어 위성이 이동함에 따라 서비스 영역도 같은 속도로 이동하는 반면 EFF는 위성의 스팟빔이 지상의 특정 위치를 향하도록 지향함으로써 일정 시간 동안 특정 지역을 고정적으로 서비스한다. 따라서 UDL의 채널 품질 저하로부터

발생하는 스팟빔 핸드오버 (BH, Spotbeam Handover)와 위성 핸드오버 (SH, Satellite handover)는 EFF의 경우 모든 단말기에 대해 동시에 발생하지만 SFF의 경우 단말기의 위치에 따라 서로 다른 시간에 발생된다. 논문에서는 고려하는 저궤도 위성망은 SFF를 사용하는 것으로 가정한다.

본 논문에서 저궤도 위성망은 위성을 나타내는 정점 s_i 의 집합 \mathbf{S} 와 ISL을 나타내는 간선 l_{ij} 의 집합 \mathbf{L} 로 구성된 그래프 \mathbf{G} 로 모델링 한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{G} &= (\mathbf{S}, \mathbf{L}) \\ \mathbf{S} &= \{s_i \mid 1 \leq i \leq n\} \\ \mathbf{L} &\subseteq \{l_{ij} = (s_i, s_j) \mid s_i, s_j \in \mathbf{S}, i \neq j\} \\ f(l_{ij}) &\rightarrow \phi_{ij}, \phi_{ij} \geq 0 \end{aligned}$$

여기서 n 은 위성망을 구성하는 위성의 수이며, ϕ 는 간선의 속성 값이다. 그래프 \mathbf{G} 에서 정점에 연결된 간선의 수는 하나의 위성이 가지는 ISL의 수와 같다. 궤도 내 ISL l_{ij} 은 s_i 가 s_j 의 전위자 또는 후위자 일 경우에만 존재하며, 궤도 간 ISL l_{ij} 은 s_i 와 s_j 가 시거리에 있고 서로의 궤도가 인접해 있으며 두 위성의 위도가 $\pm 65^\circ$ 내에 있을 경우에만 존재한다. 따라서 각각의 위성은 위치에 따라 2~4개의 ISL과 지상

단말기와 통신을 위하여 하나의 UDL을 가진다.

III. 경로 배정 기법

위성 핸드오버와 링크 핸드오버가 발생하면 위성망은 하나의 위성 내에서 UDL의 변화만을 겪는 스팟빔 핸드오버와는 달리 진행 중인 호의 지속적인 연결 서비스 제공을 위하여 송수신 위성 사이에 새로운 ISL을 포함하는 경로를 설정하여야 한다. 이러한 경로 재배정은 망에 시그널링 오버헤드를 발생시키며 새롭게 설정된 경로에 서비스를 위한 충분한 자원이 없는 경우 진행 중인 호는 절단된다. 따라서 망은 자원의 효율적 이용과 고품질의 서비스 제공을 위하여 이들 핸드오버로부터 야기되는 경로 재배정 (rerouting)의 발생을 줄여야 한다. 한편 링크 핸드오버는 위성 핸드오버와 스팟빔 핸드오버와는 달리 초기 경로 배정 시에 적절한 ISL로 구성된 경로를 선택함으로써 핸드오버의 발생을 제한 할 수 있다. 본 장에서는 초기 경로 배정 시에 적절한 ISL로 구성된 경로를 선택함으로써 링크 핸드오버의 발생을 제한하기 위한 경로 배정 기법에 대하여 기술한다.

3.1. 연결 재배정 시간

호의 연결 경로는 위성 핸드오버 또는 링크 핸드오버가 발생하여 호의 연결 경로가 바뀌거나, 호 종료 발생하여 더 이상 유용하지 않을 때까지 유지된다. 즉 초기 경로 설정 시간으로부터 호 종료 시간까지의 시간 간격을 잔여 호 지속시간 (residual call duration time) t_r , 근원지와 목적지 위성의 서비스 영역이 이동하여 위성 핸드오버가 발생하는 시간까지의 시간 간격을 위성 핸드오버 시간 (satellite handover time) t_s , 그리고 링크 핸드오버가 발생하는 시간까지의 시간 간격을 링크 핸드오버 시간 (link handover time) t_p 이라 하면 임의의 호가 현재 사용 중인 경로의 상태 변경이 발생하는 연결 재배정 시간 (connection rerouting time) t_c 는 이들 중에서 가장 작은 값과 같다.

$$t_c = \min\{t_s, t_r, t_p\} \quad (1)$$

호가 종료되지 않았을 경우에 망은 연결 재배정 시

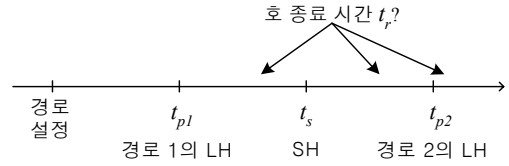


그림 2. 링크 핸드오버 회피 기법의 경로 선택

Fig. 2 Path selection of LHA scheme

간 이후에 서비스를 유지하기 위하여 새로운 경로를 설정하여야 한다.

임의의 호를 위한 경로 p 는 여러 개의 ISL로 구성되므로 경로 p 의 링크 핸드오버 시간은 경로 p 를 구성하는 ISL들 중에서 가장 작은 유지 시간 (life time)을 가지는 ISL의 유지 시간과 같다.

$$t_p = \min\{t_l \mid l \in p\} \quad (2)$$

ISL의 유지 시간 t_l 은 궤도 내 ISL의 유지 시간과 인접 궤도사이의 ISL 유지 시간으로 구분된다. 이웃하는 두 개 위성의 상대 위치가 일정한 궤도 내 ISL은 항상 존재하며 유지 시간은 무한대이다. 그러나 인접 궤도사이의 ISL의 유지 시간은 위성의 위치 변화에 따라 가변적이어서 위성의 이동 속도, 궤도 내에서 위성의 위치, 극 영역의 위도 등 위성단의 파라미터에 의하여 정해지며 이음새 영역의 경우 인접한 위성간의 연결이 전혀 없을 수 있으며 이때 해당 ISL의 유지 시간은 0 이다.

3.2. 링크 핸드오버 회피 기법

그림 2는 임의의 호의 위성 핸드오버 시간, 서로 다른 두 경로의 링크 핸드오버 시간 그리고 호 종료 기간에 대한 가상 시나리오를 보여준다. 경로 설정에서 p_1 을 선택하면 호는 t_{p1} 에 링크 핸드오버를 수행하고 t_s 에 위성 핸드오버를 다시 수행하여 t_s 동안 두 번의 핸드오버를 겪게 된다. 반면에 p_2 를 선택하면 t_s 에 한번의 위성 핸드오버만을 수행하게 된다. 따라서 링크 핸드오버 회피 (LHA, Link Handover Avoidance) 기법은 비록 p_1 의 비용이 적어도 p_2 를 선택함으로써 위성 핸드오버 전에 발생하는 링크 핸드오버

드오버를 회피하도록 한다. 즉, LHA 기법은 위성 핸드오버 시간보다 링크 핸드오버 시간이 더 큰 경로 π 를 선택함으로써 링크 핸드오버를 겪는 경로 대신에 호 종료나 위성 핸드오버에 의해 그 사용이 종료될 수 있는 연결 경로를 배정한다. 이때 경로 π 를 구성하는 모든 ISL들의 유지 시간은 위성 핸드오버로 인한 연결 재배정 시간보다 크거나 같다.

$$\pi = \mathcal{H}_{\min\{\phi_p, p \in \mathbf{P}\}}$$

여기서 ϕ_p 는 경로의 비용이고 $\mathbf{P} = \{p \mid t_s \leq t_p\}$ 는 각각의 경로를 이루는 ISL의 유지 시간이 위성 핸드오버 시간 보다 크거나 같은 링크로 이루어진 경로의 집합이다. 따라서 LHA 기법의 연결 재배정 시간은 다음과 같다.

$$t_r = \min\{t_s, t_c\} \quad (3)$$

이때 호가 종료될 경우에는 연결 경로의 재배정은 필요치 않으므로 모든 연결 경로의 재배정은 위성 핸드오버에 의하여 야기된다. 하지만 위성 핸드오버 시간보다 큰 링크 핸드오버 시간을 가지는 경로를 선택하여도 링크 핸드오버 이전에 호가 종료될 수 있으므로 현재 사용중인 연결 경로의 사용 종료가 항상 위성 핸드오버에 의해서 발생하는 것은 아니다. 이는 만약 위성 핸드오버 또는 링크 핸드오버 보다 호 종료가 먼저 발생한다면 경로 배정에 링크 핸드오버 회피를 고려하지 않아도 됨을 의미한다. 그러나 지상 단말기의 지리적 위치 정보와 위성의 이동 정보로부터 알 수 있는 위성 핸드오버나 링크 핸드오버의 발생 시간과는 달리 잔여 호 지속 시간은 경로 배정을 할 때 미리 알 수 없다.

3.3. 동적 마스크 라우팅 기법

동적 마스크 라우팅 (DMR, Dynamic Mask Routing) 기법은 예측 가능한 ISL 연결 패턴 변화와 지상 단말의 위치 정보 그리고 호 지속 시간의 통계 정보를 이용하여 링크 핸드오버로부터 야기되는 연결 재배정의 발생을 제한한다. DMR 기법의 목적은 미리 정한 확률을 넘지 않는 링크 핸드오버 발생을 허용하면서 위성 핸드오버 또는 호의 종료에 의하여 사용이 끝나는 경로를 선택하는 것이다. 따라서 링크 핸드오버 회피를

위해 필요한 ISL의 유지 시간에 대한 과대평가를 줄여 경로 선택에서 보다 많은 ISL을 이용할 수 있게 된다. 링크 핸드오버의 발생 정도는 망이 정한 링크 핸드오버 허용 확률 (tolerable link handover probability) p_l 에 의하여 제한된다.

호 지속 시간이 평균 μ 를 가지는 지수 분포를 따른다고 가정하면 잔여 호 지속 시간이 링크 핸드오버 시간보다 클 확률은 다음과 같다.

$$P[t_r > t_l] = e^{-t_l/\mu}$$

따라서 링크 핸드오버 허용 확률을 만족하는 ISL의 최소 유지 시간 l_i 은 다음과 같다.

$$l_i = -\mu \log(p_l) \quad (4)$$

만약 송수신 단말사이의 경로가 최소 유지 시간 보다 큰 유지 시간을 가지는 ISL들로 구성되면 이 경로에서 링크 핸드오버로 인한 경로 재배정이 발생할 확률은 링크 핸드오버 허용 확률 보다 작다. 따라서 DMR 기법은 링크 핸드오버 허용 확률을 만족하는 ISL의 최소 유지 시간보다 크거나 같은 링크 핸드오버 시간을 가지는 경로들 중에서 비용이 가장 작은 경로를 선택한다.

$$\pi = \mathcal{H}_{\min\{\phi_p, p \in \mathbf{P}\}} \quad (5)$$

여기서 $\mathbf{P} = \{p \mid l_i \leq t_p\}$ 는 각각의 경로를 이루는 ISL의 유지 시간이 최소 유지 시간보다 크거나 같은 ISL로 이루어진 경로의 집합이다. 따라서 DMR 기법을 적용할 경우 연결 재배정 시간은 다음과 같다.

$$t_c = \min\{t_s, t_r, t_p\}. \quad (6)$$

DMR 기법을 이용한 경로 배정은 다음과 같은 단계를 거쳐 수행된다.

- 1) 저궤도 위성망의 그래프를 구성한다.

$$\mathbf{G} = (\mathbf{S}, \mathbf{L})$$

- 2) ISL 집합 \mathbf{L} 을 가상 ISL 집합 \mathbf{L}' 에 복사한다.
- 3) 식 (4)을 이용하여 링크 핸드오버 허용 확률 p_l 로부터 최소 유지 시간 l_i 를 계산한다.
- 4) 다음을 조건을 만족하는 모든 ISL을 \mathbf{L}' 에서 삭제한다.

$$t_l < \min\{l_i, t_s\}$$

- 5) L' 에서 각각의 ISL의 비용을 결정한다.
- 6) 새롭게 만들어진 그래프 G' 에 최소 비용 경로배정 기법을 이용하여 경로를 배정한다.

$$G' = (S, L')$$

DMR 기법은 t_r 보다 작은 유지 시간을 가지는 ISL을 위성망의 ISL 토폴로지에서 제거한다. 이러한 ISL의 제거는 모든 단말기에 대하여 서로 다르게 수행된다. 즉, 단말기의 지리적 위치와 잔여 호 지속 시간에 따라서 각각의 단말기는 서로 다른 가상 그래프 G' 를 이용하여 경로를 설정하게 된다.

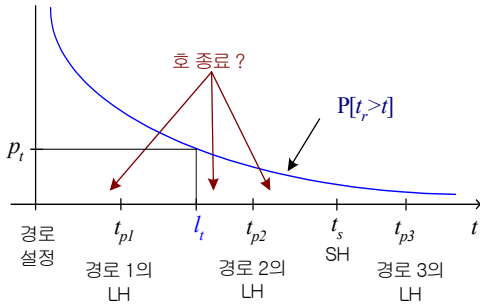


그림 3. 동적 마스크 라우팅 기법의 경로 선택
Fig. 3 Path selection of DMR scheme

그림 3은 호의 송수신 위성 사이의 서로 다른 세 개의 경로에 대하여 링크 핸드오버 시간과 위성 핸드오버 시간 그리고 최소 유지 시간의 예를 보여준다. 경로의 비용이 $\phi_1 < \phi_2 < \phi_3$ 라고 가정하면 링크 핸드오버를 고려하지 않은 기존의 최소 비용 경로 배정 (SPR, Shortest Path Routing) 기법은 최소 비용을 가지는 p_1 을 선택하고, LHA 기법은 위성 핸드오버 시간 보다 큰 링크 핸드오버 시간을 가지는 p_3 을 선택하지만 DMR 기법은 링크 핸드오버 허용 확률에 의해 계산되는 최소 유지 시간 t_r 보다 큰 유지 시간을 갖는 경로 중에서 가장 작은 비용의 경로 p_2 를 선택한다. 이는 호의 유지 시간이 t_r 보다 클 확률이 p_r 보다 작으므로 링크 핸드오버 발생의 허용되는 확률을 만족시키기 때문이다.

링크 핸드오버 허용 확률은 망이 제공하는 QoS와

망자원의 효율적 이용에 영향을 미친다. 따라서 링크 핸드오버 허용 확률 p_r 는 다음과 같은 사항을 고려하여 선택되어야 한다.

- QoS 요구사항
- 트래픽의 종류 (실시간, 비실시간)
- 평균 호 지속 시간
- 송수신 지상 단말의 위치 (위도, 경도)
- 송수신 지상 단말 사이의 거리

표 1. 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터
Table 1 System parameters for simulations

파라미터	값
궤도(고도)	Circular (780 km)
궤도의 수	6 개
궤도 내 위성 수	11 개
궤도 기울기	86.4 도
궤도 내 ISL 수	2 개
궤도 간 ISL 수	2 개
궤도 주기	약 110 분
위성의 가시 주기	약 10 분
위성의 이동 속도	26,000 km/h
ISL의 채널 수	150

VI. 성능평가

제안한 기법의 성능평가를 위해 링크 핸드오버를 고려하지 않는 SPR 기법, LHA 기법, 그리고 DMR 기법의 시뮬레이션을 수행하였으며 링크 핸드오버 수, 호의 차단 확률, 호의 절단 확률, 그리고 망자원의 이용률 면에서 비교·분석하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터를 보여준다.

그림 4, 5, 6, 그리고 7은 DMR 기법이 링크 핸드오버 허용 확률 p_r 의 선택 (0.1~1.0)에 따라 SPR 기법과 LHA 기법 사이에 위치하고 있음을 보여준다. DMR 기법은 링크 핸드오버 회피를 위해 요구되는 ISL의 최소 유지 시간에 대한 과대 평가를 제거한다. 따라서 링크 핸드오버 허용 확률이 감소함에 따라 링크 핸드오버 수 또한 감소하고 있음을 볼 수 있다. 한편 링크 핸드오버 허용 확률이 증가하면 가상 연결 그래프 설정을 위한 ISL의 마스크 단계에서 제거되는 ISL의 수가 감소하며 가상 연결 그래프에서 사용 가능한 ISL의 수는 증가한다. 따라서 배정된 경로 상의

사용 가능한 자원의 부족으로 인한 호 차단 확률이 감소하고 망의 이용률은 증가한다.

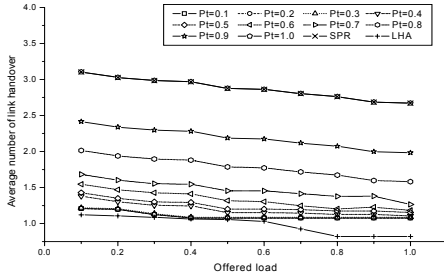


그림 4. 입력부하에 따른 평균 링크 핸드오버 수
Fig. 4 Average number of link handovers during a call as function of the offered load

그림 4는 망의 입력 부하 (offered load) 변화에 따른 평균 링크 핸드오버 수를 보여준다. LHA 기법은 위성 핸드오버 시간 보다 긴 유지 시간을 가지는 ISL로 구성된 경로를 이용하므로 링크 핸드오버를 거의 겪지 않는다. 반면에 SPR 기법은 ISL의 유지 시간을 고려하지 않으므로 링크 핸드오버가 보다 많이 발생한다. 한편 DMR은 링크 핸드오버 허용 확률에 따라 링크 핸드오버의 발생이 제한 된다.

그림 5, 6은 망의 입력 부하 변화에 따른 호의 차단 확률과 절단 확률을 보여준다. 그림 5에서 LHA 기법은 사용 가능한 경로의 수가 적어 많은 수의 신규호를 수용하지 못한다. 그림 6에서 상대적으로 호 당 발생하는 핸드오버의 수가 적은 LHA 기법의 절단 확률이 가장 낮은 반면에 핸드오버를 많이 겪는 SPR 기법의 호 절단 확률이 가장 높은 것을 볼 수 있다.

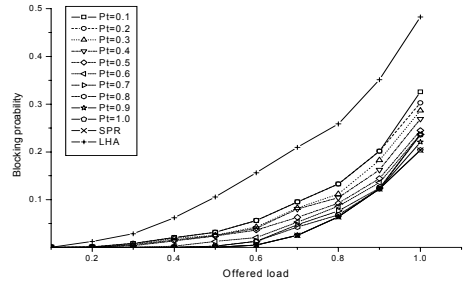


그림 5. 입력부하에 따른 호 차단 확률

Fig. 5 Blocking probability as function of offered load

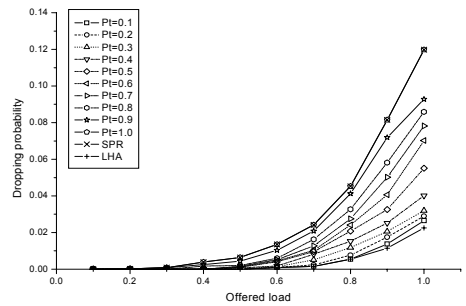


그림 6. 입력부하에 따른 호 절단 확률

Fig. 6 Dropping probability as function of offered load

그림 7는 망의 입력 부하 변화에 따른 망 이용률을 보여준다. LHA 기법은 편중된 링크의 이용으로 저조한 이용률을 보이고 있다. 반면에 DMR 기법에서 p_t 가 0.1인 경우 링크 핸드오버 수에서 LHA 기법과 비슷한 성능을 보이고 있지만 링크 핸드오버 회피를 위하여 요구되는 ISL의 최소 유지 시간을 과다하게 설정하지 않기 때문에 이용률에서는 보다 좋은 성능을 보인다.

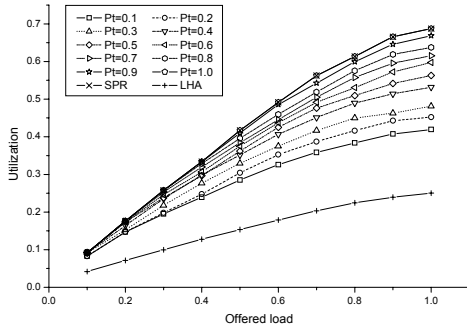


그림 7. 입력부하에 따른 자원 이용률

Fig. 7 Network utilization as function of offered load

V. 결론

본 논문에서는 극궤도를 갖는 저궤도 위성망에서 링크 핸드오버를 고려한 경로 배정 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 링크 핸드오버 회피를 위해 요구되는 위성 간 링크의 최소 유지 시간을 바탕으로 작성된 가상의 위성망 구조를 이용하여 연결 경로를 배정함으로써 링크 핸드오버의 발생을 제한하고 망자원을 효율적으로 이용할 수 있다. 앞으로의 연구진행은 다양한 서비스 클래스에 대하여 망 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하기 위해서 QoS에 따른 최적의 링크 핸드오버 허용 확률 결정에 대하여 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

[1] C-K Toh, and Victor O. K. Li, "Satellite ATM Networks architectures: An Overview," IEEE Network, vol. 12, Issue 5, pp. 61-71, 1998

[2] S. Kota, "Satellite ATM Networks for 21st Century: Challenges and Standards," Proc. of wmATM'99, pp. 276-289, 1999

[3] Young-Chon Kim, Dong-Eun Lee, Bong-Ju Lee, Yung-Sun Kim, and B. Mukherjee, "Dynamic Channel Reservation based on Mobility in Wireless ATM Networks," IEEE Communication Magazine, vol. 37, no. 11, pp. 47-51, 1999

[4] Admela Jukan, Hoang Nam Nguyen and Gerald

Franzl, "QoS-based Routing Methods for Multi-hop LEO Satellite Networks," Proc. of ICON'2000, pp. 399-405, 2000

[5] M. Werner, C. Delucchi, H.-J. Vogel, G. Maral, and J.-J. De Ridder, "ATM-based Routing in LEO/MEO Satellite Networks with Intersatellite Links," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 1, pp. 69-82, 1997

[6] H. Uzunalioglu, M. D. Bender, and I. F. Akyildiz, "A Routing Algorithm for Low Earth Orbit (LEO) Satellite Networks with Dynamic Connectivity," ACM-Baltzer Journal of Wireless Networks, vol. 6, no. 3, 2000

저 자 소개

李奉周 (正會員)



1995년 8월 전북대학교 물리학과 (이학사)
 1998년 2월 전북대학교 영상정보공학과 (공학석사)
 1999년 3월 - 현재 전북대학교 영상공학과 박사과정

<주관심분야> 이동통신, 네트워크 보안

金永川 (正會員)



1980년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1987년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1986년 9월 - 현재 전북대학교

전자정보공학부 교수

<주관심분야> 광통신, 이동통신