論文99-36S-8-3

대각 위성간 링크를 허용하는 극궤도 이동위성통신 시스템의 수학적 모델링 및 성능분석

(Mathematical Modeling and Performance Analysis of Polar Orbit Mobile Satellite Communication System Utilizing Both Neighboring and Diagonal Link)

梁 赫 *, 金 德 年 *

(Hyuk Yang and Doug Nyun Kim)

요 약

극궤도 위성에서의 위성간 링크를 사용하는 이리듐 시스템은 위성간 링크 통신이 핵심적인 기술이 된다. 이 시스템에서는 링크설정 면에 있어서 이웃 위성간에만 링크를 설정한다. 이는 위성간 통신을 할 동안 연결을 계속 유지해야 통신이 유지되는 단점을 가지고 있다. 제안된 새로운 시스템은 이웃 위성간 링크 뿐만 아니라 대각링크까지 허락하여 연속되는 위성간의 연결 수를 최소화하고 트래픽 부하를 줄임으로써 통신 성능의 향상을 증명한다. 그리고 위성고도와 가시 위성간 거리에 따르는 최적 전개 위성 수를 계산하였다. 또한 제시한 시스템의 트래픽 파라메터와 블록킹 확률을 수학적으로 분석하여 이웃위성간 링크 방식과 성능을 비교하였다.

Abstract

Inter-Satellite Links(ISL) technique in the Polar Orbit Satellite plays the key role in the communication methods in IRIDIUM system, where the ISL is commonly established between neighbor satellites. The system has major drawbacks in maintaining the multi-hopping link connectivities while the satellite nodes are communicating each other. The proposed system is newly designed to allow diagonal link connections between the satellites and shows how it does improve the performance. The optimized number of satellites in terms of their altitudes and visible distance are calculated. The traffic parameters and the probability of blocking are analyzed to compare the visible satellite link method with the neighbor link method mathematically.

I. 서 론

정지궤도인 GEO(Geostationary Earth Orbit) 위성은 전파지연 등의 문제점으로 실시간 통신이 어려워짐에 따라 저궤도인 LEO(Low Earth Orbit)와 MEO(Middle Earth Orbit) 위성의 개념이 등장하였다[1, 2, 9]. 이를 간단히 살펴보면

1) 전세계 어디서나 위성에 직접 접속할 수 있다.
2) 지연시간이 적어서 음성, 데이터, 영상 등 멀티미디어 고속통신이 가능하다.
3) 고도가 낮아짐에 따라 전파지연의 감소와 셀 크기의 축소 뿐 아니라 저전력 터미널로도 위성과 터미널간의 링크설정이 가능하다.
4) GEO 위성보다 크기와 중량이 더 작아서 (LEO: 50kg~700kg GEO: 1ton~1.5ton) 경제적인

* 正會員, 明知大學校 電子情報通信工學部
(Division of Electronics & Infor. and Comm. Engineering, Myongji University)

※ 본 결과는 정보통신부의 정보통신 우수시범학교 지원사업에 의하여 수행된 것입니다.
接受日字:1999年1月11日, 수정완료일:1999年6月22日

잇점이 있다.

5) 특히 극지역에서도 MS(Mobile Subscriber)가 신뢰성 있는 링크설정이 가능한 앙각(15°이상)을 가질 수 있다.

그러나 LEO/MEO 시스템은 GEO위성 시스템과 같이 빔이 고정되어있지 않고 위성고도가 낮아질수록 주회속도가 빨라지므로 빔 조사반경도 작아지게 되고 지구 전체를 커버하는 위성 수도 증가하게 된다.[3, 4]. 이 때문에 서비스중인 MS는 통화중에 빔 핸드오버가 발생할 확률이 높아져서 전반적으로 호 생존률에 영향을 미친다.

저궤도 위성 시스템에서는 새로운 호의 시스템 접속 성공률을 나타내는 지표인 블록킹 확률과 함께 현재 채널을 점유하여 사용중인 MS가 빔 핸드오버에 기인하여 강제종결 되는 확률이 시스템 파라메타에 따라 어떤 영향을 받게되는지 분석이 필요하다. 또한 저궤도 위성시스템에서 위성의 주회성은 관할위성 MS간에 형성되는 상하향 링크의 빔 핸드오버 뿐만 아니라 위성간 링크(ISL)의 토폴로지 변화를 불가피하게 하며 따라서 ISL 링크 토폴로지 변화에 의한 강제종결이 발생할 수 있다.

[5]에서는 ISL링크 토폴로지 변화에 대한 강제종결 확률의 영향을 고려하지 않았으며 [8]에서는 ISL링크가 이웃위성간에만 형성될 경우에 대하여 분석하였다. 본 논문에서는 이웃위성뿐만 아니라 대각위성간의 링크도 연결이 허용될 경우 강제 종결율이 대등한 조건하에서 얼마나 완화시킬 수 있는지 분석하였다.

먼저 Ⅱ장에서는 저궤도 위성시스템의 기하학적인 배열특성을 고찰하였고 이러한 기하학적 특성에 맞는 트래픽 모델링 분석에 필요한 기본 전제를 논하였다.

Ⅲ장에서는 ISL링크와 상하향링크(Up-Down Link)에 대한 수학적 모델과 트래픽 분석을 하였으며 Ⅳ장에서 시뮬레이션결과를 통하여 기존 시스템과 제안방식별로 비교하였다.

Ⅱ. LEO/MEO 위성에 대한 분석

한 위성에서 지구표면에 비춰지는 footprint 빔의 크기가 주어지면 이것은 앙각 ε_{min}보다 같거나 큰 ε 아래에 있는 지구표면에 서비스를 할 수 있다(그림 1). footprint 빔 반지름의 크기를 결정하는 중심각 ψ (이하 빔 반지름 중심각)는 위성의 고도(h), 지구반지름(ρ), 앙각 ε_{min}이 주어지면 구할 수 있다[3]

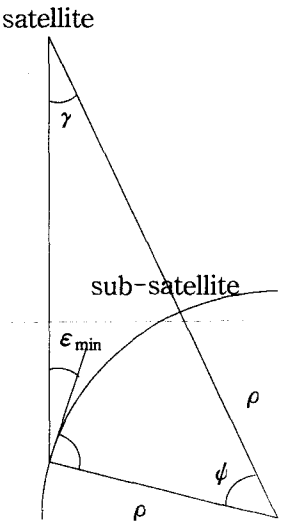


그림 1. 위성 beam에 대한 파라메터
Fig. 1. Angle Parameters of the Satellite Beam.

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_{min} - \arcsin\left(\frac{\rho}{\rho + h}\cos\varepsilon_{min}\right). \quad (1)$$

ψ : 지구중심에서 이루는각
ρ : 지구 반지름
h : 위성 고도
ε_{min} : *minimum elevation angle*

식(1)에서 ε_{min}을 고정시켜두었을 때 고도에 따른 빔 반지름 중심각을 구할 수 있고 위성에서 비춰지는 빔의 각도(γ)를 고정시킬 경우는 다음과 같다

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \gamma - \arccos\left(\frac{\rho + h}{\rho}\sin\gamma\right) \quad (2)$$

표 1. 고도, ε_{min}, γ 의 변화에 따른 빔 반지름 중심각 ψ 의 변화
Table 1. Variation of Beam Radius Center Angle to the change of Altitude, ε_{min}, γ.

(ε_{min} = min. elevation angle, and Set beam angle)

고도(km)			500	600	700	800
visible각도(°)			43.89	47.79	51.31	54.53
ψ	ε_{min}	10	14.01	15.79	17.41	18.91
	γ	59.04	8.56	10.67	13.01	15.70
	ε_{min}	8.2	15.16	16.99	18.65	20.18
	γ	59.52	8.78	10.97	13.43	16.30
	ε_{min}	5.9	16.79	18.67	20.38	21.95
	γ	60.01	9.02	11.31	13.90	16.99

고도(km)			900	1000	1500	2000
visible각도(°)			57.50	60.27	71.78	80.74
ϕ	ε_{min}	10	20.30	21.60	27.08	31.38
	γ	59.04	18.95	23.49	(35.89)	(40.37)
	ε_{min}	8.2	21.60	22.93	28.49	32.85
	γ	59.52	19.90	25.66	(35.89)	(40.37)
	ε_{min}	5.9	23.40	24.75	30.41	34.82
	γ	60.01	21.07	(30.13)	(35.89)	(40.37)

식(1)과 (2)를 이용하여 angle변화에 대한 빔 반지름 중심각 ϕ 를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 '( )' 표시는 고도가 높아짐에 따라서 γ 가 고정이 되면 지구 표면과 접할 수 있는 범위를 벗어나서 값이 표시되지 않기 때문에 위성에서 접선을 그었을 때 나타나는 중심각을 표시한 것이다. 본 논문에서는 고도에 따라 ε_{min}과 γ 를 고정시키고 ϕ 값을 계산하였다.

앞에서 구한 빔 반지름 중심각(ϕ)을 가질 때 그림 2와 같이 인접위성의 원형 빔은 서로 겹치게 되며 하나의 위성이 커버하는 지표면적은 굵은 선으로 표시한 육각형에 대응한다. 빔 반지름 중심각(ϕ)으로 빔 반지름(R_ϕ)을 구하면 다음과 같다

$$R_\phi = \rho \times \phi \tag{3}$$

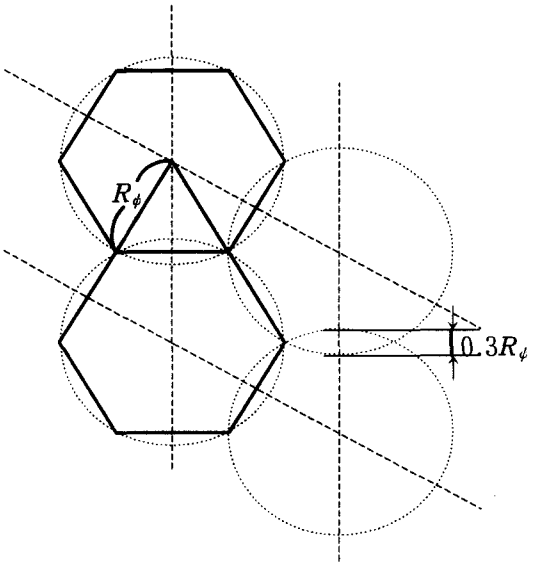


그림 2. 육각형으로 이루어진 빔 모양
Fig. 2. Hexagonal Shaped Beam.

R_ϕ을 가지고 궤도당 위성의 수(N)와 위성궤도의 수(M)를 구하면 다음과 같이 계산된다[3].

$$N = \left\lceil \frac{2\pi\rho}{\sqrt{3}R_\phi} \right\rceil, \tag{4}$$

$$M = \left\lceil \frac{2\pi\rho}{3R_\phi} \right\rceil. \tag{5}$$

그림 2를 통하여 IRIDIUM과 같은 M=6, N=11의 배열을 구할 때 각각의 파라메터의 값을 구하면 위성간의 거리는 지구중심에서 이루는 각이 약 32.73°을 가지며 ε_{min}각을 8.2°일 때 필요한 ϕ 의 각은 약 20°이다. 표 1에서 보여준 앙각 값을 가지고 고도를 500km~10000km까지 위성고도변화에 따라 전 지구를 덮는 최소 위성 수를 구하여 그래프를 그리면 그림 3과 같다.

위성의 빔이 중첩되는 지역을 핸드오버 구간이라 한다(그림 2). 저궤도 위성은 일정한 방향으로 빠르게 움직이므로 지상에 있는 mobile의 움직임을 무시할 수 있다. 그래서 핸드오버 발생하는 방향은 위성이 움직이는 방향으로만 생기게 되고 이 때 지상 mobile은 빔 셀의 중점을 지난다고 가정한다.

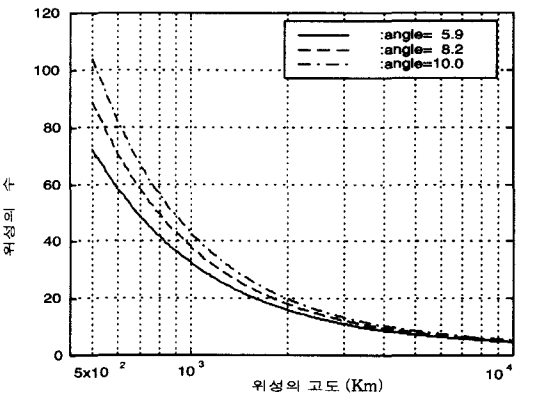


그림 3. 고도변화에 따른 위성 수
Fig. 3. Number of Satellites versus Satellite Altitude.

Visible 반경이 그림 4와 같다면 O에 위치한 위성은 A위성과도 ISL링크 설정이 가능하지만 본 논문에서는 상하좌우 위성과 대각선상에 존재하는 위성에만 직접적인 링크를 설정할 수 있는 것으로 제한하였다.

LEO/MEO 위성의 통신 트래픽 모델링 분석을 위한 기본 가정은 다음과 같다[5].

1) LEO/MEO 위성은 전 지구상에 고르게 분포하여 M개의 극궤도를 따라 주회한다.

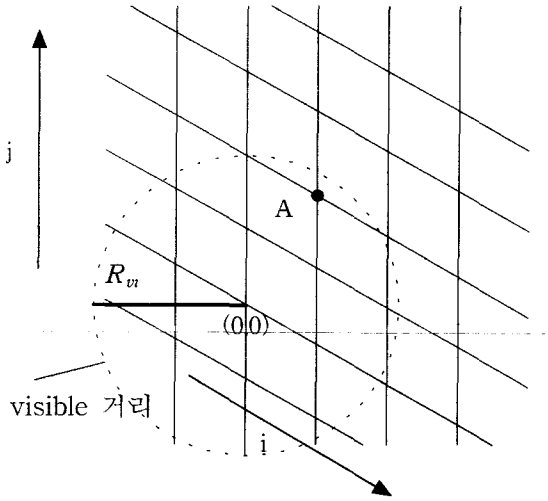
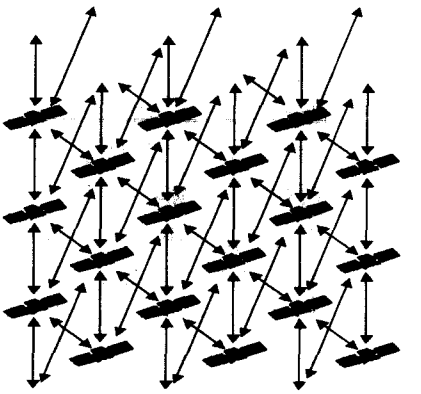
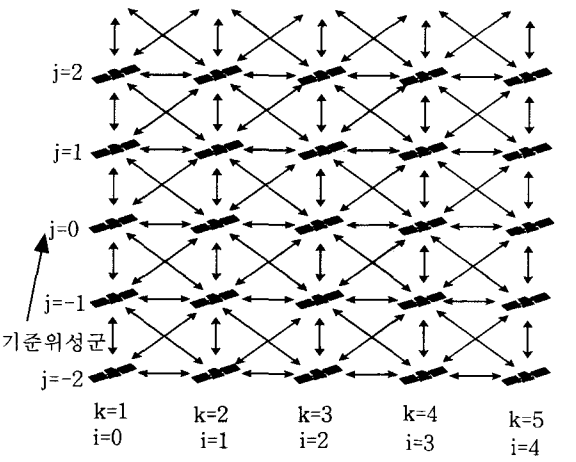


그림 4. visible반경에 대한 위성 배열
Fig. 4. Satellite Arrays related to the visible radius.

2) 위성은 반대방향으로 움직이는 위성과 링크를 설정하지 못한다. 즉 경계면에서 주회하는 위성은 주회방향의 좌측에 위치한 이웃위성과는 통신링크가 없다.
3) 각 위성은 이웃하는 위성과 대각선 방향에 있는 위성과 통신이 가능하며 각 링크마다 L 개 양방향회선을 사용할 수 있다.
4) 각 위성은 기타 다른 위성의 링크상태정보를 서로 공유한다. 이러한 가정은 LEO/MEO위성수가 커질수록 신호제어측면에서 별도로 연구되어야 하나, 일반적으로 구현 가능하다. 예를 들면 각 궤도마다 제어 위성을 하나씩 두고 소속궤도 위성의 상태정보를 수집, 교환, 분배를 주기적으로 실시한다.
5) 각 위성의 입력트래픽은 포아송분포를 따르며 위성의 이동위치에 관계없이 제공되는 트래픽 밀도는 모든 위성마다 같다.
6) 호 연결요청을 위한 Source-Destination 위성쌍은 균등(Uniform)하게 분포한다.
7) 각 위성과 지상 이동가입자간에 설정된 상하향링크(up-down link)용량은 L_g이다.
8) 위성의 이동에 의해 ISL링크 토폴로지는 변하지 않으나, 링크 Connectivity는 변할 수 있다. 그러므로 일단 ISL(Inter-Satellite Links)로 연결되어 서비스중인 콜이라 하더라도 강제종료 될 수 있으며 상하향링크에서 발생하는 강제종료와 별도로 고려되어야 한다.
9) 위성의 이동으로 형성된 빔 셀(Satellite Fixed Cell)의 이동으로 빈번한 핸드오버가 불가피하며 이는 결과적으로 새로이 발생한 콜의 블록킹 확률을 증가시킨다.
10) mobile의 속도는 위성의 주회속도 V_s에 비해 무시할 수 있으며 고정빔 셀 내에 있는 mobile은 항상 일정 속도와 방향을 가지고 빔 셀을 통과한다.
11) 핸드오버가 발생했을 때 핸드오버 되어지는 셀은 위성이 움직이는 방향으로 이웃한 cell이 된다.



(a) 실제 위성배열



(b) 간편한 위성배열

그림 5. 극궤도 위성배열의 평면 배치도 (N=홀수)
Fig. 5. Planar Arrangement of Polar Orbit Satellite Arrays (N; odd).

앞에서 지구에서의 빔 반지름 중심각을 통하여 M과 N을 구하였다. 결과적으로 대각선방향에 존재하는 위성에도 경로가 설정이 가능하므로 기존에 제공되는 상하좌우방향의 위성 통신하는 것과 다른 방법이 필요

하다. 본 논문에서 제시하는 경로설정 방법은 가장 짧은 경로를 선택하는 minimum hops 방식을 기본으로 하는 max(i,j) step 방식을 제시한다.

이 방식을 설명하면 그림 5에서 (i,j)에 목적위성이 존재할 때 i 와 j 중 큰 수를 step수로 결정을 하는 것이다. 가능한 경우의 수인 $(i+j)!/(i!j!)$보다 훨씬 짧은 step임을 알 수 있다. 다만 i = j 인 좌표에 가까이 갈수록 링크의 연결 가능경우의 수가 줄어들어 i = j 인 좌표에 존재하는 위성경우는 오직 한 가지 링크설정이 가능한 단점이 있다. 하지만 수평축이나 수직축으로 가까워질수록 많은 경로설정이 가능한 장점을 가지고 있다. 그리고 max(i,j)의 단점을 보완하기 위해서 i = j 의 위치에 있는 위성의 경우에는 step수를 하나 더 늘려주는 방식을 제시한다. 이럴 경우 max(i,j)의 i = j인 곳에 하나의 링크만이 연결이 되는데 +1 step을 해줌으로써 i = j의 링크에서의 성공확률을 높이고자 하는데 있다. 이 때 +1 step은 기존에 max(i,j)의 i = j 링크에서 사용하지 않는 경로만을 사용한다. 본 논문에서 diagonal+1 step 방식이라 명명한다. 여기서 i는 수평축의 위성, j는 수직축의 위성경로이다.(그림 5(b)) 본 논문에서는 max(i,j) step 방식과 diagonal+1 step 방식을 두 가지를 사용하여 시스템을 분석하고 기존 이웃위성링크 통신과 비교한다.

Ⅲ. Queueing 모델제시 및 트래픽 분석

1. max(i,j)step 방식

다음은 위성간 링크(ISL)에 대한 블록킹 확률을 제시한다. 앞에서 제시한 ISL은 대각 방향에 있는 링크에도 설정이 가능하기 때문에 구해야 하는 총 링크수 N_L은 다음과 같다

$$N_L=(4M-3)\times N. \tag{6}$$

ISL상에서 콜 블록킹 확률은 새로운 콜이 발생하였을 때 Source위성(S위성)과 Destination위성(D위성) 간에 연결되는 링크가 없을 때에 나타내어지는 확률이다. 인접위성간 링크 블럭킹 확률을 P_B 라 하고 $P_{i,j}$ 를 S위성으로부터 수평축으로 i, 수직축으로 j번의 경로를 거친 지점인 D위성까지 블록킹 되지 않고 연결경로가 성공할 확률이라고 한다. 경로설정에 있어서는 S위성에서 D위성까지 갈 수 있는 최단거리만을 이용하며 그 외의 경로설정은 금지된다. $P_{i,j}$ 에 대한 식을 유도하면 다음과 같다. 이 때 주의할 점은 반대방향으로 움직이는 위성과는 경로설정을 못하기 때문에 각 궤도에 따라서 기준위성군을 중심으로 아래와 위로 경로 설정할 때 블록되는 부분이 존재한다.

그림 5(a)는 실제 위성이 엇갈린 배열로 위성간 링크를 표현한 것이고 그림 5 (b)는 (a)의 배열을 쉽게 이해할 수 있도록 표현한 것이다. 앞으로 수식은 그림 5(b)를 가지고 나타내도록 하겠다. 수식을 표현하는 인자로서 M은 현재 주어진 위성 궤도의 수, k는 통신을 하고자 하는 위성이 존재하는 궤도의 위치번호, i와 j는 기준 위성을 (0,0)으로 설정을 하였을 때 위성궤도에 번호를 부여한 것이다.

$$P_{i,j}=P_{i,(-j)}=P_{(-i),j}=P_{(-i),(-j)} \tag{7}$$

다음 수식에서는 1사분면에 해당하는 i > 0과 j > 0 일 때를 나타낸 것이지만 식(7)과 같은 모든 경우에 수식은 성립이 된다. 즉 1,2,3,4사분면에서 모든 경우를 따져야 한다.

$i \geq j$ 일 경우

$i > j+1$일때

$$\begin{aligned}P_{i,j}=&(1-P_B)P_{i-1,j-1}+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}]\cdot\\&(1-P_B)P_{i-1,j}+\{1-[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}]\cdot\\&(1-P_B)P_{i-1,j}\}(1-P_B)P_{i-1,j+1},\end{aligned} \tag{8}$$

$i = j+1$일때

$$\begin{aligned}P_{i,j}=&(1-P_B)P_{i-1,j-1}\\&+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}](1-P_B)P_{i-1,j},\end{aligned} \tag{9}$$

$i = j$ 일때

$$P_{i,j}=(1-P_B)P_{i-1,j-1}, \tag{10}$$

$i \geq j$에 해당되는 (8)-(10)식은 그림 5(b)로 볼 때 기준위성(0,0)에서 대각선을 중심으로 아래쪽에 존재하는 위성링크에 대한 식을 보인 것인데 식(8)은 S위성에서 D위성에 도달하기 직전 마지막 위성에서 D위성에 연결 가능한 경우의 수가 세가지인 것을 보여준 것이고 식(9)경우는 두가지, 식(10)의 경우는 오직 대각방향에 있는 위성으로만 연결이 가능하므로 한가지 경우의 수만 계산된 것이다.

$i < j$ 일경우

$j > i+1$ and $i \neq -(k-1)$ and $i \neq M-k$ 일때

$$P_{i,j}=(1-P_B)P_{i-1,j-1}$$
$$+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}](1-P_B)P_{i,j-1} \quad (11)$$
$$+\{1-[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}](1-P_B)P_{i,j-1}\}\cdot$$
$$(1-P_B)P_{i+1,j-1},$$

$j = i+1$ and $i \neq -(k-1)$ and $i \neq M-k$ 일때

$$P_{i,j}=(1-P_B)P_{i-1,j-1} \quad (12)$$
$$+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}](1-P_B)P_{i,j-1},$$

$j \geq i+1$ and $i = -(k-1)$일때

$$P_{i,j}=(1-P_B)P_{i,j-1} \quad (13)$$
$$+[1-(1-P_B)P_{i,j-1}](1-P_B)P_{i+1,j-1},$$

$j \geq i+1$ and $i = M-k$ 일때

$$P_{i,j}=(1-P_B)P_{i-1,j-1} \quad (14)$$
$$+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}](1-P_B)P_{i,k-1}$$
$$P_{0,1}=P_{1,0}=P_{1,1}=(1-P_B). \quad (15)$$

$P_{i,j}$: 수평축으로 i 이동,
수직축으로 j 이동한 위성까지의 성공확률

P_B : 링크 블럭킹 확률

$$P_B(i,j)=1-P_{i,j} \quad (16)$$

$P_B(i,j)$: i,j 에 위치한 위성까지의 블럭킹될 확률

$i<j$에 해당되는 (11)-(16)식은 대각선 위쪽에 존재하는 위성링크에 대한 식을 보인 것이다. 앞에서 나열하였던 $i \geq j$ 과 다른 조건이 들어있는 것은 위성의 움직임이 반대방향으로 움직일 때는 서로 링크를 연결하지 않기 때문이다. 즉 주어진 조건은 옆 궤도가 반대로 움직일 때를 염두에 둔 것이다. 식(13)은 첫번째 궤도 왼쪽에 반대방향으로 움직이는 위성이 존재하므로 링크설정이 안되는 것을 식으로 유도한 것이고 식(14)는 마지막 궤도 오른쪽에 반대방향으로 움직이는 위성에 대해서 식을 유도한 것이다.

트래픽량을 구하기 위해서 앞서 P_B 를 구하려면 그림 6과 같이 M/M/N/N Queueing 모델을 사용한다[6]. 각 ISL에 걸리는 트래픽(Carried Traffic : λ_L)은 위성에 걸리는 트래픽, 즉 상하향링크를 통해서 들어오는 트래픽(Offered Traffic : λ)과의 관계를 통하여 결정이 된다. 각 ISL에 걸리는 트래픽 (λ_L)을 구하면 다음과 같다.

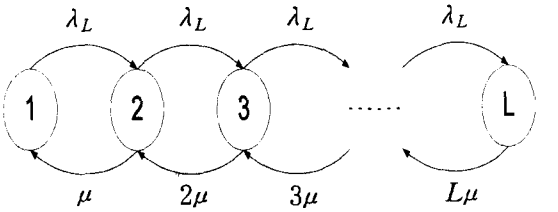


그림 6. 위성간 링크의 M/M/N/N Queueing 모델
Fig. 6. M/M/N/N queueing Model of Inter Satellite Link.

동일궤도상에 존재하는 위성들은 항상 같은 토폴로지를 가지므로 k번째 궤도에 있는 한 위성이 S위성이 되었을 때 그 위성을 중심으로 일어나는 k번째 링크 트래픽 발생량 ($\lambda_L(k)$)은 다음 식과 같다.

N 이 홀수일때

$$\lambda_L(k)=2\Big[\sum_{i=0}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j} \quad (17)$$
$$+\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}-\sum_{j=0}^{(N-1)/2}j\times\lambda_{0,j}\Big]$$
$$-\Big(\sum_{i=0}^{M-k}i\times\lambda_{i,0}+\sum_{i=0}^{k-1}i\times\lambda_{i,0}\Big),\ k=1,2,....M.$$

N 이 짝수일때

$$\lambda_L(k)=\Big[\sum_{i=0}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}\max(i,j)\times\lambda_{i,j} \quad (18)$$
$$+\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}-\sum_{j=0}^{(N/2)-1}j\times\lambda_{0,j}\Big]$$
$$+\Big[\sum_{i=0}^{M-k}\sum_{j=0}^{N/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}+\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{N/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}$$
$$-\sum_{j=0}^{N/2}j\times\lambda_{0,j}\Big]-\Big(\sum_{i=0}^{M-k}i\times\lambda_{i,0}+\sum_{i=0}^{k-1}i\times\lambda_{i,0}\Big),$$
$$k=1,2,....M$$

궤도당 위성의 수(N)가 홀수이거나 짝수일 때를 말한 것이다. S위성(0,0)을 중앙에 위치한 것으로 할 때 식(17)의 우변의 첫 항은 1사분면에 존재하는 총 링크 트래픽을 계산한 것이고 두 번째 항은 2사분면에 해당하는 총 링크트래픽을 계산한 것이다. 세 번째 항을 빼 준 것은 1사분면과 2사분면을 계산할 때 중복되는 y축에 존재하는 트래픽을 한 번 빼준 것이다. 이 전체를 2배하면 3,4사분면에서 발생하는 총 트래픽량이 계산되며 4번째 항을 빼 준 것은 2배 해주는 과정에서 중복되는 x축을 빼 준 것이다. N이 짝수일 때도 같은 방식이지만 S위성이 중앙에 존재하면 1,2사분면에 존

재하는 위성의 수가 3,4사분면에 존재하는 위성보다 궤도당 위성이 하나가 더 많기 때문에 분리해서 계산한 것이다.

λ_{ij}는 수평축으로 i 번 수직축으로 j 번의 경로를 거친 지점의 목적위성까지의 트래픽이며 모든 위성쌍에 대하여 동일하다고 가정을 한다.

$$\lambda_{ij}=\frac{\lambda}{N_s} \qquad 0\le i\le M\ ,\ \ 0\le j\le N\ , \tag{19}$$

단 N_s = 총 *LEO* 위성수 = $M\times N$.

결국 궤도당 발생하는 트래픽($\lambda_L(k)$)을 합한 총트래픽 발생량(λ_t)은

$$\lambda_t=N\sum_{k=1}^{M}\lambda_L(k)\ , \tag{20}$$

단위 링크당 걸리는 실제트래픽 λ_L은

$$\lambda_L=\frac{\lambda_t}{N_L} \tag{21}$$

와 같다. 이 실제 트래픽(λ_L)이 ISL상에서 사용되는 입력 트래픽이 된다[8]. 이 트래픽을 가지고 그림 6에서 주어진 모델로 P_B 를 구한다.

2. diagonal+1 step 방식

앞에서 제시한 max(i,j)step 방식을 토대로 하여 diagonal+1 step 방식을 제시한다. 총 링크수(N_L)는 같고 성공확률에서 달라지는 부분은 i = j 인 링크 중 max(i,j) step에서 사용하지 않은 링크만을 사용하여 +1 step을 더 허용을 하는 것이므로 변경되는 수식은 다음과 같다

$i = j$ 일때

$$\begin{aligned}P_{i,j}=&(1-P_B)P_{i-1,j-1}\\&+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}](1-P_B)^{i+2}\\&+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}+[1-(1-P_B)P_{i-1,j-1}]\\&\cdot(1-P_B)^{i+2}](1-P_B)^{i+2}.\end{aligned} \tag{22}$$

식(22)는 대각선상에서 링크설정이 하나의 길뿐이었지만 연결 step수를 하나 더 증가시켜주고 max(i,j)에서 사용한 길을 사용하지 않는 조건을 적용하여 우변의 두번째와 세번째 식이 첨가가 된 것이다. 이외에 달라지는 식은 없이 max(i,j) step에서 제시한 식을 그대로 사용하여 계산하면 된다. 그리고 트래픽량은 diagonal+1 step에 그림 6의 Queueing 모델이 사용되어서 각 ISL에 걸리는 트래픽(λ_L)을 구한다. 이 식에서 달라지는 것은 i = j 인 곳에서 +1 step으로 가는 경우가 생기게 되므로 max(i,j) step으로 갈 때 걸리는 트래픽과 +1 step이 더해진 트래픽을 달리 계산해주어야 한다. i = j 에 한가지 링크가 있고 +1 step이 허용되어 열어지는 링크가 두가지가 존재함으로 max(i,j)step 방식에는 총 트래픽의 1/3(그림 7(b)의 ①)을, +1 step 방식에는 총트래픽의 2/3(그림 7(b)의 ②)를 허용하여 k번째 링크 트래픽($\lambda_L(k)$)은 다음 식과 같이 표시된다.

N 이 홀수일때

$$\begin{aligned}\lambda_L(k)=2\Bigg[&\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i=j}}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}\left(\frac{1}{3}i\times\lambda_{i,j}+\frac{2}{3}(i+1)\times\lambda_{i,j}\right)\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i=j}}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}\left(\frac{1}{3}i\times\lambda_{i,j}+\frac{2}{3}(i+1)\times\lambda_{i,j}\right)\\&-\sum_{j=0}^{(N-1)/2}j\times\lambda_{0,j}\Bigg]-\left(\sum_{i=0}^{M-k}i\times\lambda_{i,0}+\sum_{i=0}^{k-1}i\times\lambda_{i,0}\right),\\&k=1,2,\ldots.M\end{aligned} \tag{23}$$

N 이 짝수일때

$$\begin{aligned}\lambda_L(k)=\Bigg[&\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i=j}}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}\left(\frac{1}{3}i\times\lambda_{i,j}+\frac{2}{3}(i+1)\times\lambda_{i,j}\right)\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i=j}}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}\left(\frac{1}{3}i\times\lambda_{i,j}+\frac{2}{3}(i+1)\times\lambda_{i,j}\right)\\&-\sum_{j=0}^{(N/2)-1}j\times\lambda_{0,j}\Bigg]\\&+\Bigg[\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{M-k}\sum_{j=0}^{N/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}\\&+\sum_{\substack{i=0\\ i=j}}^{M-k}\sum_{j=0}^{N/2}\left(\frac{1}{3}i\times\lambda_{i,j}+\frac{2}{3}(i+1)\times\lambda_{i,j}\right)\end{aligned} \tag{24}$$

$$+\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{k-1}\sum_{j=0}^{N/2}\max(i,j)\times\lambda_{i,j}$$

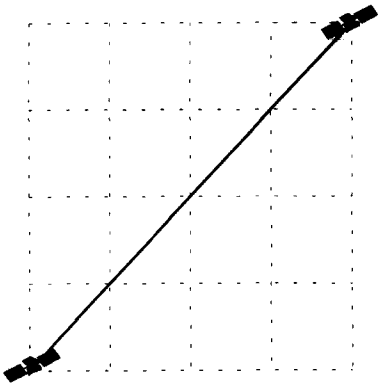
$$+\sum_{\substack{i=0\\ i=j}}^{k-1}\sum_{j=0}^{N/2}\left(\frac{1}{3}i\times\lambda_{i,j}+\frac{2}{3}(i+1)\times\lambda_{i,j}\right)$$

$$-\sum_{j=0}^{N/2}j\times\lambda_{0,j}\Big]$$

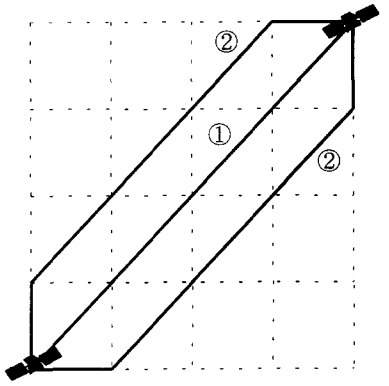
$$-\left(\sum_{i=0}^{M-k}i\times\lambda_{i,0}+\sum_{i=0}^{k-1}i\times\lambda_{i,0}\right),$$

$k=1,2,\ldots,M.$

그리고 링크당 걸리는 실제 트래픽(λ_L)은 앞에서 주어진 식(20), (21)을 통하여 구할 수 있다.



(a) max(i,j)에서 i=j 링크연결



(b) diagonal+1에서 i=j 링크연결

그림 7. 위성링크 연결도(i=j일 경우)
Fig. 7. Connectivity of the Satellite Link (i=j).

3. 링크 평균 블록킹 확률

링크 평균 블록킹 확률은 지상에서 올라온 트래픽을 주어진 Queueing 모델에 적용하여 블록킹 확률을 구하고 이로부터 전체 링크에 걸리는 블록킹 확률을 구하여 총 링크수로 나누어 얻을 수 있다. 모든 위성으로부터 처리할 트래픽 밀도가 위성의 위치에 상관없이 일정하다면 k번째 궤도를 주회하는 위성의 평균 블록킹 확률($P_{BL}(k)$)은 다음과 같다.

$N=$ 홀수일때

$$P_{BL}(k)= \tag{25}$$

$$\frac{2\left[\sum_{i=0}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}P_B(i,j)+\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N-1)/2}P_B(i,j)-\sum_{j=0}^{(N-1)/2}P_B(0,j)\right]}{N_s-1}$$

$$-\left(\frac{\sum_{i=0}^{M-k}P_B(i,0)+\sum_{i=0}^{k-1}P_B(i,0)}{N_s-1}\right),\quad k=1,2,\ldots,M,$$

$N=$ 짝수일때

$$P_{BL}(k)= \tag{26}$$

$$\frac{\left[\sum_{i=0}^{M-k}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}P_B(i,j)+\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{(N/2)-1}P_B(i,j)-\sum_{j=0}^{(N/2)-1}P_B(0,j)\right]}{N_s-1}$$

$$+\frac{\left[\sum_{i=0}^{M-k}\sum_{j=0}^{N/2}P_B(i,j)+\sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{N/2}P_B(i,j)-\sum_{j=0}^{N/2}P_B(0,j)\right]}{N_s-1}$$

$$-\frac{\left(\sum_{i=0}^{M-k}P_B(i,0)+\sum_{i=0}^{k-1}P_B(i,0)\right)}{N_s-1},$$

$k=1,2,\ldots,M,$

$$P_B(0,0)=0 \qquad P_{BL}(k)=P_{BL}(M+1-k). \tag{27}$$

구한 확률을 다 합하여 궤도 수로 나누면 위성의 평균 링크 블록킹 확률(P_{BL})이다

$$P_{BL}=\frac{\sum_{k=1}^{M}P_{BL}(k)}{M}. \tag{28}$$

4. 상하향 링크에 대한 분석

상하향 링크를 분석하기 위해서 위성간 링크를 분석하는 것과 달리 핸드오버에 대한 개념이 들어가야 한다. LEO/MEO 이동위성은 고도가 낮아짐에 따라서 주행 속도가 빨라지고 핸드오버도 더 빨리 일어난다. 따라서 위성 빔이 고정되어있을 경우와 비교해서 강제 핸드오버 요소를 고려해야 한다.

이미 설정된 콜이 핸드오버하는 현상을 정량적으로 분석하기 위해 정상상태에서 한 빔셀의 핸드오버 도착률(Arrival Rate)과 핸드오버 이탈률(Departure Rate)이 같다고 가정한다. P_{b_1}을 새로운 콜의 접속 실패 확률, P_{b_2}를 어떤 콜의 핸드오버 실패 확률이라 하

면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\lambda_n(1 - P_{b_1})P_{h_1} + \lambda_h P_{h_2}(1 - P_{b_2}) = \lambda_h , \quad (29)$$

P_{h_1} : 새로운 call이 핸드오버될 확률,

P_{h_2} : 핸드오버된 call이 다시 핸드오버가 일어날 확률.

위 등식에서 좌변항은 핸드오버 도착률을 나타내며 이는 새로운 콜이 접속에 성공하고 핸드오버 시점까지 콜이 지속한 후 성공적으로 핸드오버하는 트래픽과 기존의 핸드오버된 콜이 다시 핸드오버 시점까지 지속한 후 성공적으로 핸드오버하는 트래픽의 합으로서, 관찰하는 셀의 핸드오버 도착률이다. 그리고 우변항은 핸드오버 이탈률을 나타낸다. 강제핸드오버가 발생하는 시점은 두 빔이 서로 겹치는 부분에서 발생하며 적당한 채널 배정이 없으면 핸드오버는 실패한다. 이 때 핸드오버 실패율(failure rate) μ_f 를

$$\mu_f = (\text{평균핸드오버 처리시간})^{-1} = \frac{V_s}{0.3R_\phi} \quad (30)$$

라고 하면(그림2), 아래 그림과 같이 Queueing 모델을 설정할 수 있다.

그림 8에서와 같이 시스템의 실제 채널수용용량은 L_g이나, L_g이후의 시스템 상태는 핸드오버시점에서 요청되는 콜 수에 따르는 사망률(Death rate)을 고려한 것이다. 따라서 (L_g+j) 의 시스템 상태는 $j\mu_f$ 사망률을 더해야 한다. 새로운 콜은 시스템 상태가 L_1 이상일 경우에는 억세스가 차단되고 그 이후는 핸드오버 콜만 받아들인다. 그림 8에 근거해서 시스템 상태 확률 $\{P_j,\ j=1,2\ldots\}$의 관계식을 구할 수 있고 새로운 콜이 블록킹 될 확률 P_{b_1}과 핸드오버 콜이 블록킹 될 확률 P_{b_2}를 구할 수 있다[5].

$$P_{b_1} = \sum_{j=L_1}^{\infty} P_j, \quad (31)$$

$$P_{b_2} = \sum_{j=L_g}^{\infty} P_{b_{2|j}} P_j. \quad (32)$$

주어진 식에서 $P_{b_{2|j}}$는 다음과 같다[7].

$$P_{b_{2|j}} = 1 - \prod_{i=0}^{j-L_g}\left[1 - \frac{\mu_f}{(L_g\mu + \mu_f)2^i}\right] \quad (33)$$

그러나 λ_h/λ_n은 식(29)에서 보듯이 그 자체가 P_{b_1}, P_{b_2}의 함수로 표시되어있어 초기치를 잡고 반복순환방식(recursive method)을 이용하여 수렴하여 푼다. 그림 8에서 사용되는 서비스 시상수 $\frac{1}{\mu}$은 새로운 콜과 핸드오버 콜의 한 셀에서의 채널지속시간을 평균한 것이다[8].

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\lambda_n}{\lambda_n+\lambda_h} E[T_n] + \frac{\lambda_h}{\lambda_n+\lambda_h} E[T_h] \quad (34)$$

새로운 콜의 채널지속시간 T_n의 PDF $f_{Tn}(t)$을 구하면

$$f_{Tn}(t) = \frac{1}{\alpha T_m}\left[e^{-\frac{t}{T_m}} + \frac{1}{T_m} e^{-\frac{t}{T_m}}(\alpha T_m - t)\right] \quad (35)$$

로 나타내어지며, 식을 구하는데 필요한 인자 user mobility(α)를 정의하고 구하면[5]

$$\alpha = \frac{2R_\phi}{V_s T_m} \quad (36)$$

R_ϕ : 빔 반지름 T_m : 평균 *Call* 지속시간

V_s : 위성의 속도

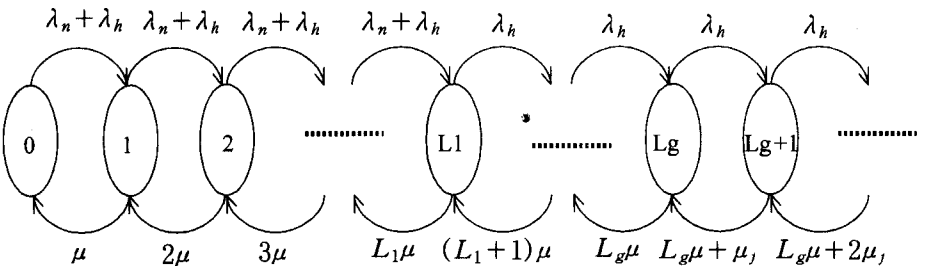


그림 8. 상하향 링크의 Queueing 모델
Fig. 8. Queueing Model of Up-Down Link.

새로운 콜 평균 채널지속시간($E[T_n]$)은

$$E[T_n] = T_m(1-P_{h_1}) \tag{37}$$

으로 구할 수 있다. 마찬가지 방법으로 T_h의 PDF인 $f_{Th}(t)=\frac{1}{T_m}e^{-\frac{t}{T_m}}$ 로 부터 핸드오버 콜 평균 채널지속시간($E[T_h]$)를 구하면 다음과 같다

$$E[T_h] = T_m(1-P_{h_2}). \tag{38}$$

5. LEO/MEO 위성시스템 링크분석[8]

LEO 이동시스템은 위성 상하향링크와 ISL링크가 직렬로 연결한 큐잉모델로 해석할 수 있으며 위성 상하향링크에서 출력 처리된 트래픽 파라메타는 ISL에 입력파라메타로 생각할 수 있다. 만약 하나의 S-D링크 연결에는 동일빔내의 S-D쌍이 모두 존재하지 않는다면 두 개의 위성 상하향 링크와 하나의 ISL링크 경로가 필요하고, 동일빔내에 S-D쌍이 모두 있을 경우에는 위성 상하향링크 한 회선이 필요하다. 한 위성에 요구되는 평균 총 트래픽량 λ는 새로운 콜과 핸드오버 콜로서 표시되며 상하향링크의 채널상태에 따라 그림 8과 같이 달라진다.

따라서 λ는

$$\lambda = \sum_{l=0}^{\infty}\lambda(l)P_l, \tag{39}$$

$$\lambda(l) = \begin{cases} \lambda_n + \lambda_h & 0\le l\le L_1-1 \\ \lambda_h & L_1\le l \end{cases}. \tag{40}$$

LEO/MEO 위성시스템 전체에서 새로운 콜의 블록킹 확률 P_{BS} 은

$$P_{BS}=1-(1-P_{b_1})^2\left[1-(\frac{Ns-1}{Ns})P_{BL}\right] \tag{41}$$

이다. 빔 핸드오버 확률 P_{HO}는 new call의 핸드오버와 핸드오버 콜이 다시 핸드오버하는 경우를 더하면 다음과 같다

$$P_{HO}=\frac{\lambda_n}{\lambda_n+\lambda_h}P_{h_1}+\frac{\lambda_h}{\lambda_n+\lambda_h}P_{h_2}. \tag{42}$$

위성시스템 전체 핸드오버가 일어나고 새로운 링크 할당이 이루어질 확률 P_{SHO}는 아래 식과 같다

$$P_{SHO}=P_{NL}\left[P_{HO}^2(1-P_{b_2})^2+2P_{HO}(1-P_{HO})(1-P_{b_2})\right]. \tag{43}$$

식 (41)의 우변항에 표시된 P_{NL}은 새로운 링크설정에 ISL링크의 필요여부에 따라서 고려된 factor이며 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$P_{NL}=\frac{1}{N_s}+\frac{N_s-1}{N_s}(1-P_{BL}) \tag{44}$$

여기서 P_{HO}와 P_{SHO}를 통하여 위성 시스템에서 콜이 강제 종결 확률 P_{FT} 를 구할 수 있다

$$P_{FT} = 2P_{HO} - P_{HO}^2 - P_{SHO}. \tag{45}$$

Ⅳ. 시뮬레이션 결과분석

본 장은 이리듐 위성 모델인 6x11의 배열을 가지고 바둑판 배열일 때 고정된 값 $V_s=26600km/h$, $\rho=6400km$, $T_m=3$분으로 설정하여 시뮬레이션을 하였다. 먼저 시스템 분석을 하는데 있어서 지상에서 위성과 연결되는 상하향링크의 환경은 동일하게 Lg=20, L1=16으로 가정한다.

시뮬레이션은 이웃하는 위성만으로 통신하는 위성(이웃위성)과 대각 링크를 이용하는 모든 위성, 즉 이웃위성과 대각선상에 놓인 위성까지 이용한 통신(daigonal step)과 i=j 위치에 있는 링크에 +1 step을 더하는 diagonal+1 위성을 비교한 것이다. 각 위성시스템에 현실적인 환경을 위해 각각의 위성은 한정된 채널을 가진다. 그림 9-13에서는 이웃위성 시스템에는 L=20일 때, 대각링크 허용 위성링크 시스템은 L=10일 때 비교를 하여 보여준 것이다. 가용 채널 L의 크기를 달리한 것은 하나의 위성이 가지고 있는 채널의 수를 80개로 가정을 하였을 때 이웃위성링크 시스템인 경우 동서남북 4개의 링크이므로 각 링크에 20개의 채널이 할당이 된다. 하지만 대각링크 허용 위성링크를 사용할 시에는 대각선상에 놓인 위성까지 더해져서 링크 4개가 더 첨가가 된다. 즉 상하좌우 링크를 포함하여 8개의 링크가 있다. 결국 하나의 링크에 할당되는 채널은 10개가 된다. 그림 9-10은 ISL에 걸리는 트래픽과 콜 블록킹 확률이다. 그리고 그림 11-13은 위성시스템 전체에서 보았을 때 얻어지는 새로운 콜 블록킹 확률과 핸드오버 후에 새로운 링크가 할당될 수 있는 확률, 그리고 핸드오버를 시도하였을 때 시간이 초과하여 결국 강제로 종결되는 확률을 보여준다.

그림 9는 링크에 걸리는 실제 트래픽으로써 이웃위

성링크를 이용하는 시스템인 경우 사용 가능한 링크가 적기 때문에 각 링크에 걸리는 트래픽이 대각링크 허용 위성시스템보다 현저히 큼을 볼 수 있다. max(i,j) step과 diagonal+1 step를 비교할 때는 diagonal+1 step시스템이 max(i,j)보다 i = j 상에서 약간의 링크를 더 쓰기 때문에 트래픽이 더 많음을 볼 수 있다.

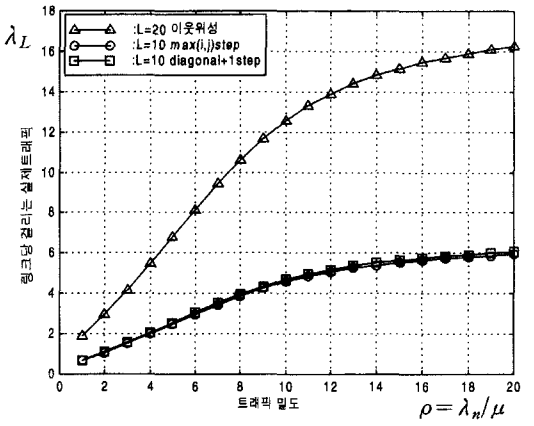


그림 9. $L_g = 20$, $L_l = 16$일 때 위성링크당 걸리는 실제 트래픽
Fig. 9. Actual Traffic Carried on the ISL Link when $L_g = 20$, $L_l = 16$.

그림 10은 그림 6 Queueing 모델에서 얻을 수 있는 링크 블록킹 확률(P_B)을 3.3절에서 주어진 공식으로 위성 링크 평균 블록킹 확률(P_{BL})을 그린 것이다. Queueing 모델로 통해 얻는 P_B는 채널수가 이웃링크가 더 많기 때문에 더 적지만 링크에 걸리는 트래픽 량의 차이로 이웃 위성만을 이용한 시스템과는 격차가 있음을 알 수 있다.

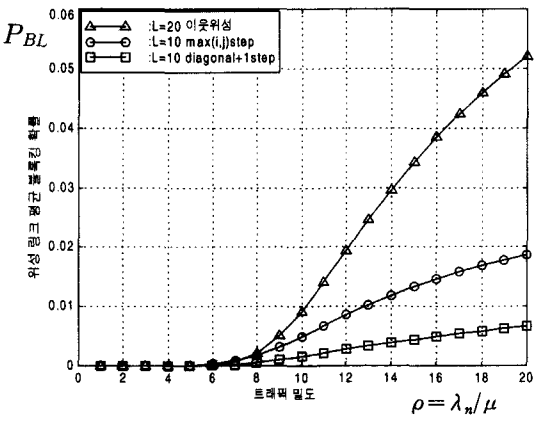


그림 10. 위성 링크 평균 블록킹 확률
Fig. 10. Average Blocking Probability of ISL Link.

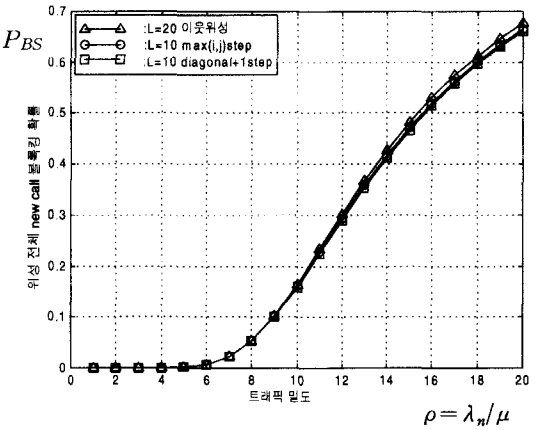


그림 11. 위성전체 새로운 콜 블록킹 확률
Fig. 11. New Call Blocking Probability of Overall Satellite System.

그림 11은 식(41)에서 제시한 것을 토대로 구한 것으로 위성시스템 전체에서 새로운 콜만을 관련하여 블록킹 확률을 제시한 것이다. 지상에서 올라와서 위성링크에 처음으로 걸리는 새로운 콜만을 보았을 때 기존 이웃위성시스템과 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제시한 위성시스템의 경우 핸드오버되는 콜의 블록킹 확률이 기존에 제시된 위성 시스템보다 더 월등할 수 있다는 추측을 가지게 한다.

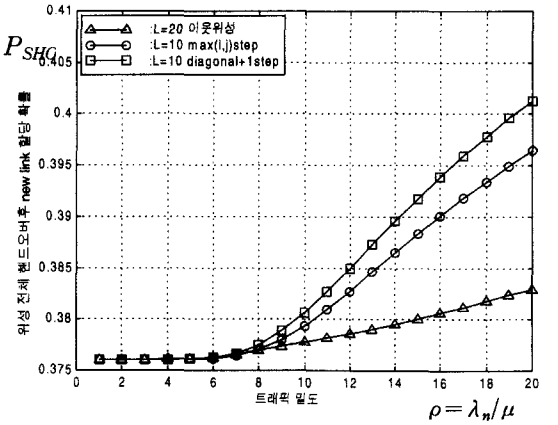


그림 12. 위성전체 핸드오버후 새로운 링크 할당 확률
Fig. 12. Probability of New Link Assignment after Handover in the Satellite System.

그림 12가 앞에서 추측한 것이 옳음을 뒷받침 해준다. 핸드오버된 콜이 새롭게 링크를 할당받을 수 있는 확률이 기존에 제시한 이웃위성 링크시스템보다 더 우수함을 보여준다. 또한 대각링크 허용 위성 링크 방식에서도 diagonal+1 step 방식이 더 나은 것을 볼 수 있다. 결국 핸드오버가 일어나서 새로운 링크가 설정

될 때 링크 가지 수의 다양함으로 블록킹 확률이 적어지므로써 콜이 자연스럽게 연결될 수 있다.

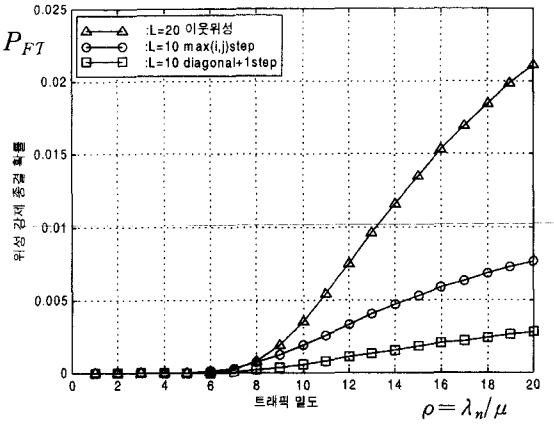


그림 13. 위성 강제 종결 확률
Fig. 13. Forced Termination Probability of Overall Satellite System.

그림 13에서는 모든 결과를 토대로 얻은 것인데 새로운 콜이나 핸드오버 콜이 블록킹이 낮으므로 결국 전체적으로 강제 종결되는 확률이 대각링크 허용 시스템에서 더 우수함을 보여준다. 그림 12에서 보여주었듯이 핸드오버될 때 새로운 링크를 쉽게 받을 수 있기 때문에 그 만큼 강제 종결이 적어지는 것이다.

앞 시뮬레이션 결과를 보면 대각링크 허용 위성시스템의 경우 모든 부분에서 max(i,j) step보다 diagonal+1 step이 더 우수함을 볼 수 있었다. 이렇게 결과가 나올 수 있는 하나의 가능치수를 보이면 표 2는 기준 위성군에서 첫 번째 궤도(k=1)일 때 max(i,j) step 방식과 diagonal+1 step 방식의 차이를 쉽게 보기 위하여 일정한 블록킹 확률에 대하여 평균치와 분산, 표준편차를 구하여 비교한 것이다. diagonal+1 step방식이 평균 성공확률도 높고, 분산 및 표준편차가 적으므로 더 안정된 방식임을 알 수 있다.

표 2. 대각링크 허용 위성 시스템의 두 방법에 대한 파라메터
Table 2. Parameter Comparison of two Methods in the Diagonal Link Allowed Satellite System.

방식 / 구분 P_B	max(i , j) step 방식		
	평균	분산	표준편차
0.045	0.97865	0.00202	0.04493
0.400	0.56961	0.03778	0.19437
0.045	0.99432	0.00015	0.01224
0.400	0.62271	0.21621	0.14704

V. 결 론

현재 중·저궤도 위성시스템 중에서 이리듐 시스템과 같은 극궤도 위성에 대하여 위성간 링크통신방식을 확장하여 더 우수한 링크설정의 방법을 제시하고자 하였다. 제시한 방법은 한 S위성에서 이웃 및 대각선 방향에 존재하는 위성에 링크설정을 가능토록 하여 통신을 하는 방식으로 고도에 따른 이상적인 궤도수와 궤도당 위성 개수를 제시하고 단일 빔 형식으로 본 시스템을 구성하였다. 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 결과에 의하면 하나의 위성이 보유한 채널의 조건이 같을 때 지상에서 올라오는 트래픽량이 같더라도 위성 링크상에서 각 링크에 걸리는 트래픽량이 달라짐으로 새로운 콜 및 핸드오버 콜의 블록킹 확률이 대각링크 허용 위성 시스템이 더 우수함을 알 수 있었고 그 중에서도 max(i,j) step 방식의 단점을 보완한 diagonal+1 step 방식이 더 우수함이 증명된다. 현재는 이웃위성 링크만을 사용하여 통신서비스를 구축하고 있지만 미래에는 더 다양한 통신 방법으로 본 논문에서 제시한 방법과 같은 대각링크를 허용하는 위성 시스템을 이용한 통신링크를 설정할 수 있는 방식을 적용하여 더 빠르고 안정된 서비스를 구축할 것으로 기대된다. 앞으로 연구가 계속되어진다면 S위성에서 볼 수 있는 모든 위성에 링크를 설정 가능한 시스템을 구성해 볼 수 있다. 그리고 단일 빔이 아닌 스팟 빔의 개념이나 non-uniform의 환경에서 연구가 계속 되어질 것이다.

참 고 문 헌

[1] Gerard Maral and Jean-Jacques De Ridder, "Low Earth Orbit Satellite Systems for Communications", *International Jour. of Sat. Comm.*, Vol.9, pp209-225, 1991.

[2] Enrico Del Re , "A Cordinated European Effect for Satellite Integrated Environ-

ment for Future Mobile Communications", *IEEE Com. Mag.*, pp98-104, Feb. 1996.

[3] Markus Werner, "Analysis of System Parameter for LEO/ICO-Satellite Communication Networks",*IEEE Journal on SAC*, Vol.13, No. 2, pp371-381, Feb. 1995.

[4] Yvette C Hubbel and L. Sanders, "A Comparison of the IRIDIUM and AMPS Systems," *IEEE Network*, pp.52-59, March 1997.

[5] Enrico Del Re, "Efficient Dynamic Channel Allocation Technique with Handover Queuing for Mobile Satellite Networks", *IEEE Jour. of SAC.*, Vol. 13, No. 2, pp397-405, February 1995.

[6] Leonard Kleinrock, *Queueing Systems*, Vol. 1, Wiley, New York, 1975, pp. 89-110.

[7] Daehyoung Hong, Stephen S. Rappaport, "Traffic Model and Perform ance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol VT-35, No.3 Aug. 1986.

[8] 김영준, 김덕년, "위성간 링크를 이용한 극저궤도 이동위성통신 시스템의 성능분석", 한국통신학회 논문지 제24권 1A호, pp 23-32, 1999.1

[9] 정선종 외, 이동위성통신기술개발, 한국전자통신연구소, 대전, 1995.12, 제1장

저 자 소 개

梁 赫(正會員)

1971년 1월 24일생. 1997년 2월 명지대학교 공과대학 정보통신공학과. 1999년 2월 명지대학교 대학원 정보통신공학과 석사. 1999년 3월 ~ 현재 세진T&M 멀티미디어연구소 연구원. 주관심분야는 저궤도위성시스템, 위성방송시스템

金 德 年(正會員)

1975년 서울대학교 전기공학(공학사). 1981년 SUNY at Stony Brook 전기공학(공학석사). 1988년 Auburn Univ.전기공학(공학박사). 1971. 12 ~ 1980. 5 IBM Korea (시스템 엔지니어). 1984. 7 ~ 1985. 7 메릴랜드 大(R.A) 1985. 9 ~ 1988. 8 Auburn 大(R.A & T.A). 1988. 9 ~ 1995. 2 한국전자통신연구소(실장,책임연구원). 1995. 3 ~ 현재 명지대전자정보통신공학부정보통신연구센타 소장/ 부교수. 주관심분야는 이동위성통신, 이동통신, 초고속 위성통신, 무선통신