

현실적 모델링 갖는 LEO Constellation에서 위성간링크의 성능분석

김영준
명지대학교 전자정보통신공학부
kyjplus@wh.myongji.ac.kr

Performance Analysis for an Inter-Satellite Link in the LEO Constellation with the realistic modelling

Kim Young Jun
Myongji University Electronic-Communication Departure
kyjplus@wh.myongji.ac.kr

스지역의 가입자 이동속도에 따라 핸드오버의 빈도수

Abstract

In this paper, the communication performance and its characteristics of the polar Low Earth Orbit(LEO) mobile satellite have been described in terms of the generalized performance parameters via geometric modeling and analysis. Especially, the general formula related to the parameters such as the number of orbits(M) and the number of satellites per orbit(N) were derived in the LEO satellite system for voice service, and then we applied the general result to IRIDIUM system(M=6, N=11) that would be scheduled to commercialize soon. The offered traffic of Inter Satellite Link(ISL), ISL link blocking probability as well as both new call blocking probability and the probability of forced termination for the on going call are calculated as the result of performance analysis.

I. 서론

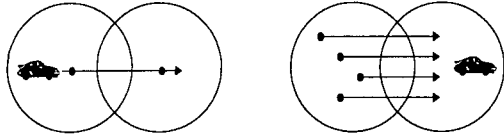
인공위성을 이용한 통신 및 방송서비스, 즉 위성통신 서비스나 위성방송 서비스는 광지역에 대해 고속, 대용량의 정보를 동시에 여러 사람에게 전달할 수 있다는 특징을 지니고 있다. 지상의 이동통신망은 서비

가 변하며 계층화된 중첩셀구조를 제공하므로써 다이 나믹한 채널 할당방식을 이용하여 통신용량의 극대화 와 유연한 통신서비스가 가능해지고 있다[1][2]. 셀 지역을 커버하는 빔 기술 중 안테나 steering 기술 이 필요한 earth-fixed cell system과 지상의 셀을 자연스럽게 빔이 지나가는 satellite-fixed cell system중 이 논문에서는 satellite-fixed cell system을 다룬다. 지상망은 현실에 가까운 모델을 채택했으며, 위성망은 LEO 시스템 중 트래픽의 효율 성을 높이기 위해 위성간 링크가 가능한 이리듐 시스템[3]에 대하여 알아보기로 한다. II장에서는 지상 망과 위성망 모델링을 다루었고 III장에서는 지상망과 위성망을 연동했을 때 지상망의 새로운 콜과 핸드오 버 콜의 블로킹확률과 위성망에서의 링크블로킹확률 그리고 on-going call의 강제종결확률등을 구한다. IV장에서는 앞장의 수학적 분석에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

II. 시스템 모델링

1. 지상망 모델링

가입자의 이동 특성이 항상 셀의 중심을 지나가는 Enrico Del의 모델[4]과 달리 그림1-2에서와 같이 현실에 가깝게 가입자가 셀에 random하게 위치하도록 모델링하였다.



1-1. Erico Del 1-2. 현실적 모델링
그림 1. 지상망 모델링

저궤도 이동위성은 고도가 낮아짐에 따라서 주행속도가 빨라지고 핸드오버도 더 빈번히 일어난다. 따라서 위성빔이 고정되어 있을 경우와 비교해서 강제핸드오버 요소를 고려해야한다. 위성의 주행속도를 V_s , 스팟빔 반경을 R 이라고 하고 통화지속 평균시간을 파라미터 T_m 의 지수분포특성을 가지면 새로운 콜이 핸드오버될 확률 P_{nh} 과 핸드오버된 콜이 다시 핸드오버가 일어날 확률 P_h 는 다음과 같이 표시된다.

$$P_{nh} = P\{T_M > T_o\} = \int_0^\infty (1 - F_{T_M}(t)) f_{T_o} dt \quad (1)$$

$$P_h = 1 - P\{T_d > T_M\} = 1 - \int_0^\infty (1 - F_{T_d}(t)) f_{T_M} dt \quad (2)$$



2-1. origination cell 2-2. destination cell
그림 2. 기하학적 cell 모양

origination cell에서의 channel holding time의 pdf[5]는 그림 2-1에 근거하여

$$f_{T_o}(t) = \begin{cases} \frac{4}{\pi\tau} \sqrt{1 - (t/\tau)^2} & 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$\tau : 2R/V_s$ (residence maximum time)

로 나타내어지며 destination cell에서의 channel holding time의 pdf[5]는 그림 2-2에 근거하여

$$f_{T_d}(t) = \begin{cases} \frac{t/\tau}{r\sqrt{1 - (t/\tau)^2}} \sin[\cos^{-1}(1 - a/2)] & 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$0 < a < 1$: overlap 되는상대비

이다.

2. 위성망 모델링

위성은 지구 전 지역에 균일하게 분포되어 있으며 모든 위성의 용량을 동일하다고 가정한다. 그리고 각 위성에 도달하는 지상 트래픽은 시스템내의 모든 위성이 동일하며 origination 위성에서 자신과 다른 모든 위성으로 전송하는 트래픽은 경로 거리에 상관없이 모두 동일하다고 가정한다.

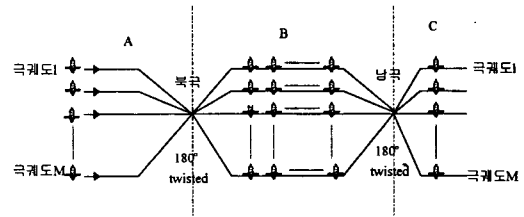


그림 3. 극궤도 LEO 위성의 전개도

그림 3와 같은 위성배치도로 M 개의 궤도에 각 궤도당 N 개씩 총 $Ns(M \times N)$ 개의 위성으로 구성되어있는 시스템을 분석한다. M 개 궤도중 양 끝의 2개 궤도의 모든 위성은 어느 한쪽방향의 이웃위성과 서로 위성의 이동방향이 달라 위성간 링크연결이 불가능한 방향이 존재한다고 가정한다. 따라서 이 2개 궤도내의 모든 위성은 서로 다른 진행 방향을 갖는 이웃위성과 연결하기 위해서는 자기 궤도내의 다른 위성을 경유하여 최단경로로 연결하게 된다. 새로운 콜의 링크블록킹 확률을 P_B 로 정의하고 $P_{i,j}$ 는 콜의 source위성에서 수평축으로 i , 수직축으로 j 번의 경로를 거친 지점의 위성까지 블록킹 되지않고 연결이 성공할 확률로 정의한다. 따라서 상대거리 (i,j) 인 origination위성에서 destination위성까지의 콜 블록킹확률 $P_B(i,j)$ 는

$$P_B(i,j) = 1 - P_{i,j} \quad (5)$$

이다. 그림 3에서 보는바와 같이 한 궤도를 주회하는 위성들은 모두 같은 기하학적 특성을 가지며 모든 위성으로부터 처리할 트래픽 밀도가 위성의 위치에 무관하게 일정하다면 좌측으로부터 k 번째 궤도를 주회하는 위성의 평균 블록킹확률 $P_{BL}(k)$ [6]는 다음과 같다.

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

$$- \left(\frac{\sum_{i=0}^{k-1} P_B(i,0) + \sum_{j=0}^{k-1} P_B(i,0)}{N_s - 1} \right), \quad k=1,2,\dots,M \quad (6)$$

$$P_{BL}(0,0) = 0, \quad P_{BL}(k) = P_{BL}(M+1-k) \quad (7)$$

동일 궤도에 속한 위성들은 언제나 같은 토폴로지를 가지므로 k번째 궤도에 속한 위성이 영향을 주는 ISL위성망의 트래픽 $\lambda_L(k)$ [6]는 다음과 같다.

$$\lambda_L(k) = 2 \left[\sum_{i=0}^{(N-1)/2} \sum_{j=0}^{(N-1)/2} (i+j) \times \lambda_{i,j} + \sum_{i=0}^{(N-1)/2} \sum_{j=0}^{(N-1)/2} (i+j) \times \lambda_{i,j} - \sum_{j=0}^{(N-1)/2} j \times \lambda_{0,j} \right] - \left(\sum_{i=0}^{(N-1)/2} i \times \lambda_{i,0} + \sum_{i=0}^{(N-1)/2} i \times \lambda_{i,0} \right), \quad k=1, 2, \dots, M. \quad (8)$$

여기에서 $\lambda_{i,j}$ 는 기준위성으로부터 수직축으로 i번 수직축으로 j번의 경로를 거친 지점의 목적지 위성까지의 트래픽이며 모든 위성쌍에 대하여 동일하다고 가정한다.

III. 시스템 성능분석

cell에 채널요구를 하는 평균 입력 트래픽들은 다음과 같다.

λ_n : 새로운 콜의 평균 입력 트래픽

λ_h : 핸드오버 콜의 평균 입력 트래픽

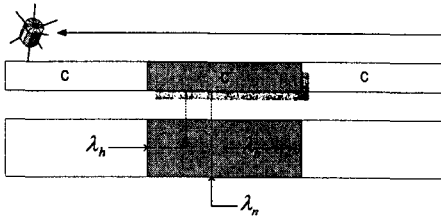


그림 4. 주어진 셀에서의 traffic contributions
주어진 한 cell에 들어오는 총 트래픽은 그림 4과 같이 λ_n, λ_h 로 구성된다.

시스템의 성능분석을 위해 다음과 같은 용어정의와 가정이 필요하다.

- 1) 새로운 콜 arrivals는 λ_n 의 평균값을 갖는 Poisson이며 핸드오버 콜 arrivals 역시 λ_h 의 평균값을 갖는 Poisson이다.
- 2) P_{Bn} : 새로운 콜이 블러킹될 확률
- 3) P_{Bh} : 핸드오버가 실패할 확률
- 4) P_{FT} : On-going call의 강제종결확률
- 5) λ_L : 단위링크당 걸리는 실제 트래픽

$$\lambda_L = \frac{\lambda_t}{N_L} [6]$$

- 6) 상하향 링크에 L개의 채널을 할당하고 그 중 새로운 콜은 L-S개의 채널만 사용할 수 있다. (S : reserved handover channel)
- 7) 콜의 서비스율은 μ 의 평균값을 갖는 exponentially distribution 특성을 갖는다.

1. 상하향 링크분석

위의 가정들로부터 상하향링크는 M/M/L/L 큐잉 시스템으로 나타낼 수 있다.

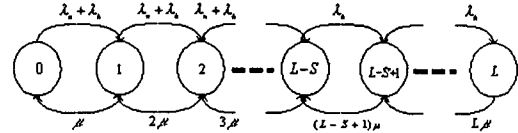


그림 5. 상하향링크의 큐잉모델

그림 5에 근거해서 시스템 상태 확률 P_j 의 관계식은 다음과 같다.

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^j}{j! \mu^j} P_0 & 1 \leq j \leq L-S \\ \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^{L-S} (\lambda_h)^{j-(L-S)}}{j! \mu^j} P_0 & L-S+1 \leq j \leq L \end{cases} \quad (9)$$

새로운 call이 블러킹될 확률 P_{Bn} 은

$$P_{Bn} = \sum_{j=L-S}^L P_j \quad (10)$$

그리고 핸드오버가 실패할 확률 P_{Bh} 는

$$P_{Bh} = P_L \quad (11)$$

이다.

2. LEO 위성시스템 링크분석

위성간 링크에서는 M/M/Ls/Ls 큐잉모델에 적용하였다.

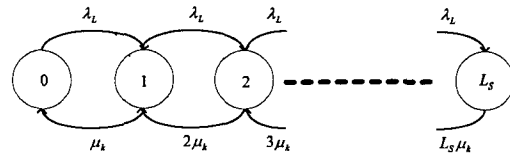


그림 6. 위성간 링크의 M/M/Ls/Ls 큐잉모델

그림 6에 근거하여 링크 블러킹 확률 P_B 를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$P_B = \frac{\frac{1}{L_S!} \rho^{L_S}}{\sum_{j=0}^{L_S} \frac{\rho^j}{j!}}, \quad \rho_L = \lambda_L / \mu_k \quad (12)$$

빔 핸드오버 확률을 P_{HO} [6], 위성시스템 전체 핸드오버가 일어나고 새로운 링크할당이 이루어질 확률을 P_{SHO} [6]라고 하면 LEO위성 시스템의 강제종결 확률 P_{FT} 는 다음과 같이 표시된다.

$$P_{FT} = (1 - P_{SHO}) - (1 - P_{HO})^2 \quad (13)$$

IV. 시뮬레이션 결과분석

M×N 시스템의 수학적 분석을 바탕으로 이리듐 시스템(M=6, N=11)을 모델로 시뮬레이션을 수행하였다.

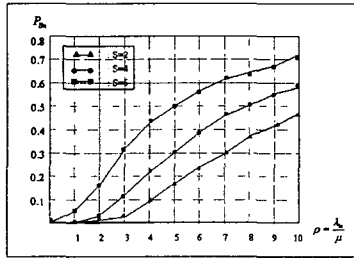


그림 7. 상하향링크에서의 새로운 콜 블러킹확률

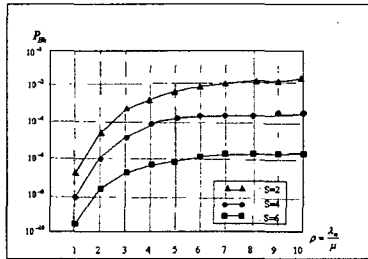


그림 8. 상하향링크에서의 핸드오버 콜 블러킹확률

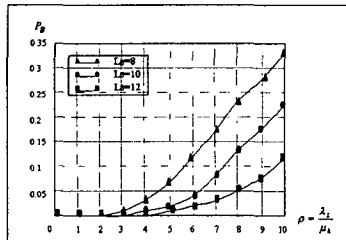


그림 9. L:10, S:2일 때 ISL상의 링크블러킹확률

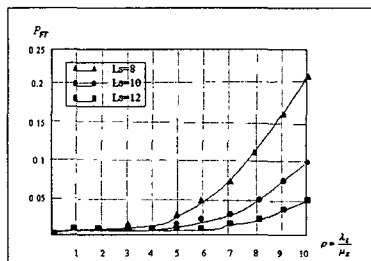


그림 10. L:10, S:2일 때 LEO위성시스템 전체에서 강제종결확률

그림 7-8에서 보아 P_{Bn} 와 P_{Bh} 가 동시에 최소화 할 수는 없지만 트래픽 밀도가 주어지면 두 파라미터를 만족하는 reserved channel S값을 구할 수 있다. 그림 9는 링크블러킹을 나타내며 위성간 링크에서 대체경로가 존재하기만 하면 블러킹되지 않기 때문에 링크블러킹확률이 크다하더라도 콜 블러킹 확률은 작게 된다. 그림 10은 진행중인 콜이 블러킹되는 확률로써 이미 서비스되어 진행중인 모든 콜에 대한 블러킹 확률을 나타낸다.

V. 결론

많은 채널을 할당하면 향상된 트래픽을 받아들일 수 있으나 기술적 한계에 직면하여 다른 기술이 필요하다. ISL회선을 증가시켜 위성간 링크에 걸리는 트래픽량을 감소하여 트래픽 수용 효율을 향상시킬 수 있으나 이 역시 경제적 비효율성에 의해 비합리적이다. 고속, 대용량의 전달을 위해 빔을 레이저로 대체하는 방법과 위성의 최대 단점은 delay를 보완할 새로운 프로토콜이 고찰되어야 한다.

참고문헌

- [1] S.S. Rappaport and L. R. Hu, "Microcellular Communication systems with hierarchical macrocell overlays; traffic performance models and analysis," Proc.IEEE, vol. 82, no. 9, pp. 1383-1397, Sept. 1994
- [2] L. R. Hu and S.S. Rappaport, "Personal Communication Systems using multiple hierarchical cellular overlays," IEEE J. SAC, vol. 13, no. 2, pp.406-415, Feb. 1995
- [3] 기술정보센터, 위성시대의 통신과 방송, 한국전자통신연구소, 1996
- [4] Enrico Del Re, R. Fantacci, G. Giambene, "Performance Analysis of a Dynamic Channel Allocation Technique for Satellite Mobile Cellular Networks," International Journal of Satellite Comm, Vol. 12, pp. 25-32, 1994
- [5] Gonzalo Ruiz and Tewfik L. Doumi and John G. Gardiner, "Teletraffic Analysis and Simulation of Mobile Satellite System," IEEE Transaction on Technology, pp. 252-256, 1996
- [6] 김영준, 김덕년 "위성간링크를 이용한 극저궤 이동위성통신시스템의 성능분석" 한국통신학회 논문집, Vol. 24, No. 1A, pp. 23-32