

# 성층권 비행선을 이용한 이동통신 시스템의 outage 확률 및 simulation에 관한 연구

김혜영, 고봉진  
창원대학교 전자공학과

## A Study on the Outage Probability and Simulation for Mobile Communication System using Stratospheric Platform

HyeYoung Kim, BongJin Ko  
ChangWon Nat'l Univ. Electronic Engineering.  
queen254@netian.com, bjko@sarim.changwon.ac.kr

### 요약

This paper represented the analytic results of outage probability, considering the effect of Rician fading, Interference and Interference-reduction techniques and simulated, when cellular system was constructed by using Stratospheric platform, one of the next generation wireless communication infras which provides high speed multimedia services.

### I. 서론

현재 고속의 멀티미디어 이동통신 서비스를 제공하기 위해 전 세계적으로 저궤도 위성을 이용한 GMPCS, 지상 무선 통신망을 이용한 LMDS 등의 개발이 활발히 추진되고 있으나, 데이터 전송 속도면이나 경제성의 면에서 소비자의 욕구를 충족시키기에는 다소 무리가 따른다. 따라서, 경제적이면서 고속의 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 무선 통신망의 구축이 요구되어진다. 이러한 요구를 충족시키는 방법으로서 음성 및 고속의

데이터를 중계하는 성층권 비행선을 새로운 무선 통신 인프라로 활용하는 방안이 대두되고 있다<sup>[1]</sup>. 뿐만 아니라, WRC-2000회의에서 IMT-2000대역에서 HAPS(High Altitude Platform Station)를 지상기지국 대용으로 사용하자는 제안도 통과되어졌다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 성층권 비행선을 이용하여 이동통신 시스템의 outage 확률을 구함으로써 통신 시스템의 성능을 예측하고자 한다. 먼저, II장에서 성층권 무선중계 시스템에 대해 간단히 소개하고, III장에서는 기존의 위성에서의 간섭 모델을 이용하여 성층권 비행선에 적용한 간섭 모델을 제시하고 반송파대 간섭전력비(C/I)와 outage 확률을 유도한 후 비행선의 셀구성과 간섭감소기법을 소개한다. IV장에서는 성층권 비행선과 지구국간의 통신링크에서 존재하는 LOS에 의한 Rician 페이딩에 의한 영향을 고려해 앞에서 유도한 반송파대 간섭전력비를 계산한 후, 이를 simulation 하여 검증한다. 그리고, V장에서 결론을 맺는다.

### II. 성층권 비행선의 특징

성층권 무선중계 시스템은 위성의 장점과 지상 이동 통신의 장점을 함께 고려한 차세대 무선통신에 가장 적절한 시스템으로 예상되고 있다.

성층권 무선중계 시스템은 성층권(Stratosphere, 지상 20~80km 상공)에 중계기를 탑재한 비행선을 인구 밀집 지역과 같이 서비스 수요가 많은 지상의 일정 위치 상공에 채류시켜 각종 무선통신 서비스를 제공하는 시스템으로서 서비스 대상 지역에 고정/이동 디지털 무선 채널들을 다양한 전송률로 양방향 통신이 가능하게 하는 것을 목적으로 한다.

성층권 무선중계용 주파수는 47.2~47.5GHz 및 47.8~48.1GHz로 상·하향 링크 각각에 300MHz 대역폭을 할당하고, 운용고도는 20.6~23.8km가 적당한 것으로 알려져 있다. 그리고 서비스 커버리지는 성층권 비행선의 운용고도에 따라 요구되는 최소 서비스 양각에 의해 정해지게 된다.

### III. 성층권 비행선에서의 간섭모델

성층권 비행선에서의 간섭 분석을 위해 기존의 위성에서의 간섭 모델을 적용하였고, 이때 성층권 비행선의 payload 스펙은 현재 알려진 성층권의 스펙을 그대로 적용하였고, 알려지지 않은 부분은 LEO위성의 스펙을 채택하였다.

#### 1. 반송파 대 신호 전력비와 Outage 확률<sup>[3]</sup>

단일 성층권 비행선, 단일 사용자를 가정하면, 각 비행선마다의 간섭합과 각 사용자마다의 간섭합은 생략되고 각 셀의 간섭만이 고려된다.

$N_c$ 가 비행선 당 셀 수, 그리고  $N_u$ 가 사용자의 수를 나타내면, 사용자 또는 그것의 통신채널은 임의의 index 집합  $(i, j)$ ,  $i=1, \dots, N_m, j=1, \dots, N_c$ 를 통해 증명할 수가 있다. 통신 대상 이동체(wanted mobile)를 집합  $(m, n)$ 로 할당하면, 이 모델의 분석에서 요구되는 양각들은 그림 1에 보여진 것과 같다.  $\theta_{ij}$ 는 통신 대상 이동체가 포함된 셀을 커버하는 메인로브의 boresight에 대해 비

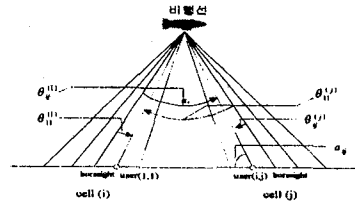


그림1. 통신 대상 이동체와 간섭하는 터미널의 관심의 각

행선으로부터 사용자  $(i, j)$ 를 바라보는 각이고,  $\alpha_{ij}$ 는 사용자  $(i, j)$ 가 비행선을 바라보는 양각이다. 또한,  $(i, j)$ 를  $(m, n)$ 로 대체하면 통신대상 이동체에 대해서도 같은 정의가 적용된다.

본 논문에서는, 고정지구국(FES : fixed Earth station)의 트래킹(tracking) 안테나가 아주 높은 지향성을 가져서 성층권 비행선만 바라본다고 가정하여 하향 링크의 간섭은 고려하지 않는다. 통신 대상 이동체에서 고정 지구국으로의 return 링크에 대한 경우, 임의의 순간에 비행선의 특정 위치가 주어질 때,  $\alpha_{ij} \geq \alpha_0$ (최소양각)을 가지고 간섭하는 이동체의 집합을  $V$ 로 정의하면 상향 링크에서 신호대 간섭전력비(signal-to-interference power ratio)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{C}{I} = \frac{\beta_{mn} \epsilon_{mn}(\alpha_{mn}) G_n(\theta_{mn})}{\sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_u} \{ (i, j) \in V \} \gamma_{ij} \mu_{ij} \beta_{ij} \epsilon_{ij}(\alpha_{ij}) G_n(\theta_{ij})} \quad (3)$$

여기서,  $\beta_{ij}^{-1}$ 는 사용자  $(i, j)$ 에서 성층권 비행선까지의 경로감쇠이고,  $\epsilon_{ij}(\alpha)$ 는 이동체에 대해  $\alpha$ 방향에서 송신 전력과 안테나 이득의 내적, 그리고  $\gamma_{ij}$ 와  $\mu_{ij}$ 는 각각 적교성 인자와 활동성 인자를 나타낸다.

또한,  $W$ 를  $(m, n)$ 로써 주파수 채널을 재사용하는 사용자들을 포함하는  $V$ 의 부분 집합이라 하고, 모든 이동단말이 같은 전송전력과 일정한 이득 안테나를 가지며,  $(i, j) \in W$ 에서  $\mu_{ij}=1$ (동시에 동작함)이라 가정하면 (3)는 다음으로 표현되어 질 수 있다.

$$C/I = \frac{\beta_{mn} G_n(\theta_{mn})}{\sum_{j=1}^N \sum_{(i,j) \in W} \beta_{ij} G_n(\theta_{ij})} = \frac{C}{\sum_{(i,j) \in W} I_{ij}} \quad (4)$$

Outage 확률,  $P_{out}$ 은 특정  $C/I$ 를 얻는데 실패할 확률로써, 다중 액세스기법과 디지털 변조방법이 주어질 때, 최소 반송파대 간섭 전력비  $(C/I)_{TH}$ 가 얻어지면 다음과 같이 정의된다.

$$P_{out} = \text{Prob} \left\{ \frac{C}{I} \leq \left( \frac{C}{I} \right)_{TH} \right\} \quad (5)$$

## 2. 셀 구성<sup>[4]</sup>과 간섭감소기법

이동 통신이 가능한 조건으로 양각을 45° 이상으로 가정하고, 고도 22 km 높이에 비행선을 두고 원형으로 된 중심 셀의 반경을 2.5 km로 하고, 동일한 안테나의 빔 패턴을 가진다고 할 경우, 서비스 커버리지는 그림2와 같이 된다.

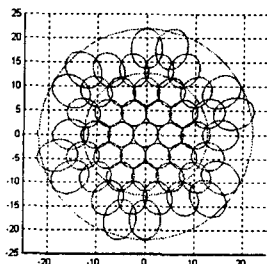


그림 2. 동일패턴에 대한 서비스 커버리지

그리고 셀을 구성하는데 적용한 간섭감소기법<sup>[2]</sup>은 중·저궤도 위성의 간섭감소기법으로써 다음과 같다.

· 기법 A(Spot Turn-Off)

두 개 spot이 과도하게 겹칠 때 두 spot 중 하나는 꺼진다. 통신 대상 이동체와 인접해 있는 6개의 셀을 비추는 spot은 모두 꺼져 버리고 그 외 주변의 셀들로부터 간섭을 받는다.

· 기법 B(Interorbital Plane Frequency Division)

이용 가능한 주파수를 궤도 평면의 개수만큼 나누어 다른 궤도 평면의 비행선은 간섭을 일으키지 않으므로 각 클러스터마다 주파수를 재사용하게 된다. 총 7개의 클러스터 중에서 통신 대상 이동체가 있는 클러스터를 제외한 나머지 6개의

클러스터들로부터 간섭을 받게 된다.

## IV. Rice페이딩의 영향과 Simulation

### 1. Rice 페이딩의 영향

앞에서의 간섭 분석은 페이딩현상을 고려하지 않았다. 이제는, 모든 사용자들이 비슷한 환경에 위치하고 다중경로에 의해 nonselective 페이딩을 받는다는 가정하에, 시스템의 outage 확률을 측정한다. 이 가정은 전파매체의 전달함수포락선에 대해 Rice 분포를 가정하는 것과 같다. 이 경우에, 식(4)는 페이딩 존재하에서

$$\frac{C_f}{I_f} = \frac{\rho_{mn} C}{\sum_{(i,j) \in W} \rho_{ij} I_{ij}} \quad (6)$$

에 의해 쉽게 수정되어진다. 여기서,  $C$ 와  $(I_{ij})$ 는 결정적이고, 랜덤변수  $\rho$ 는 자유도 2의 noncentral  $\chi^2$ 분포를 한다.

Outage 확률  $P_{out}$ 을 구하기 위해, 참고문헌[5]에서 소개된 분석적인 접근 방법을 사용하여,  $Z$ 를 두 개의 음이 아닌 랜덤변수의 비, 즉,  $Z = C_f/I_f$ 라 하면,  $Z$ 의 c.d.f.,  $F_z(Z)$ 는

$$F_z(Z) \cong F_c(E[I_f]Z) \cong F_c\left(\frac{K+1}{K} \frac{I}{C} Z\right) \quad (7)$$

에 접근할 수 있다. 여기서,  $F_c(C)$ 는  $C_f$ 의 c.d.f. 이고,  $E[\cdot]$ 는 통계적 평균을 나타낸다. 식(7)은  $\sigma_c^2 \gg \sigma_i^2$ 일 때 만족한다.

따라서, outage 확률을 구하는 것은 누적분포함수를 구하는 것과 같으므로 다음 식과 같다.

$$P_{out} = \text{Prob} \left\{ \frac{C_f}{I_f} \leq \left( \frac{C}{I} \right)_{TH} \right\} = F_{c/I} \left( \left( \frac{C}{I} \right)_{TH} \right) \quad (8)$$

즉, outage 확률은 단지 Rice 인자와  $C/I$ 에 따라 결정된다.

### 2. Simulation

이 방법의 응용으로, 100개의 다른  $(C, (I_{ijk}))$  ( $(i, j, k) \in W$ ) 패턴에 의해 얻어지는 outage 확률을 다른  $K$ 값들에 대해서 나타내었다.

그림3는 일반적인 outage 확률과 간섭 감소 기법A와 기법B를 사용했을 때의 여러 Rice인자  $K$  (0dB, 5dB, 10dB)에 대한 outage 확률을 각각 나타

낸 것이고, 그림4는 간섭 감소 기법A를 적용했을 때, 여러 페이딩 심도  $K(0dB, 5dB, 10dB)$  값에 따른 셀간의 거리에 따른 보통의 경우와 최악의 경우에 대한 outage 확률을 나타내었다. 그림에서, 페이딩의 영향은 페이딩이 없을 때보다  $P_{out}$ 을 상당히 증가시키며, 간섭감소기법을 사용하면 간섭이 훨씬 더 줄어진다는 것을 알 수 있다.

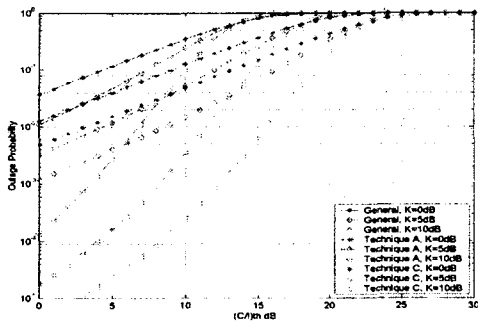


그림 4. 간섭감소기법에 따른 outage 확률비교

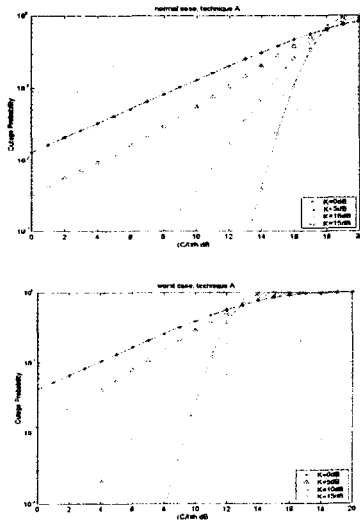


그림 5. 간섭감소기법A 적용했을 때, 보통인 경우와 최악의 경우에 대한 outage 확률

## V. 결론

위성의 해석모델을 성층권 비행선을 이용한 이동 통신 시스템에 적용하여 시스템의 성능을 평가하였다. Outage 확률은 Rice 인자와  $C/I$ 에 의해 결정되며, 이때 간섭을 줄이기 위해 기법A (Spot Turn-Off)와 기법B (Interorbital Plane Frequency Division) 두 가지를 적용하였다.

페이딩이 없을 때의 반송파 대 간섭 전력비가 outage 확률에 결정적인 영향을 미치는데, 기법A의 경우에는 기법B보다 높은 간섭 전력을 지녀 결과적으로 높은 반송파 대 간섭 전력비를 얻지 못하였다. 그리고 일정한  $C/I$ 에 대해 Rice 인자  $K$ 값이 클수록, 일정  $K$ 값에 대해  $C/I$ 값이 클수록 outage 확률이 낮음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 안도섭, 이재현, 박광량, 방중홍, 김재명, "성층권 비행선을 이용한 국내 광대역 무선 통신망 개념 설계", 한국통신학회 추계 종합학술 발표회 논문집, 1998.
- [2] 안도섭, 구분준, 백동철 "성층권통신시스템 (HAPS) 국제 표준화 동향", 한국통신학회 제17권 제 7호, pp.74-79, 2000, 7.
- [3] F. Vatalaro, G.E. Corraza, C. Caini, C. Ferrarelli, "Analysis of LEO, MEO, and GEO Global Mobile Satellite Systems in the Presence of Interference and Fading," IEEE Journal on Selective Area in Communications, vol. 13, no. 2, February 1995.
- [4] 안도섭, 엄만석, 박광량, 김재명, "성층권 무선 중계 시스템의 셀 구성방식에 따른 탑재 안테나 패턴 연구," 한국통신학회 추계 종합 학술발표회 논문집, 1998.
- [5] C. Caini, G. Immovilli, and M. L. Merani, "Outage probability or cellular mobile radio systems: Simplified analytical evaluation and simulation results," Electron. Lett. vol. 28, pp. 669-671, March 1992.