

성층권 비행선을 이용한 이동통신 시스템의 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of Mobile Communication System using Stratospheric Platform

고 봉 진, 김 혜 영, 조 성 언
BongJin Ko, HyeYoung Kim, SungEun Cho

요 약

본 논문에서는 초고속 멀티미디어 서비스를 제공하는 차세대 무선 통신 인프라의 하나인 성층권 비행선을 사용하여 이동 통신 시스템을 구축하였을 때, Rician 페이딩과 간섭의 영향, 그리고 간섭 제거 기법들을 고려한 outage 확률에 대해 분석하고 이를 시뮬레이션 하였다. 결과로부터, 페이딩이 없을 때의 반송파 대 간섭전력비 C/I 와 페이딩 심도 K 가 outage 확률에 결정적인 영향을 미친다. 즉, 일정한 C/I 에 대해 K 값이 클수록, 일정 K 값에 대해 C/I 값이 클수록 outage 확률은 낮게 나타남을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This paper presents the analytic results of outage probability, considering the effect of Rician fading, interference and interference-reduction techniques, when a mobile communication system was constructed by using Stratospheric platform, one of the next generation wireless communication infrastructure which provides high speed multimedia services.

The results show that carrier to interference power ratio C/I and fading depth K have an effect on outage probability. That is, outage probability decreases as K value increases for constant C/I value and C/I value increases for constant K value.

I. 서 론

현재 고속의 멀티미디어 이동통신 서비스를 제공하기 위해 전 세계적으로 저궤도 위성을 이용한 GMPCS, 지상 무선 통신망을 이용한 LMDS 등의 개발이 활발히 추진되고 있으나, 데이터 전송속도면이나 경제성의 면에서 소비자의 욕구를 충족시키기에는 다소 무리가 따른다. 따라서, 경제적 이면서 고속의 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 무선 통신망의 구축이 요구되어진다. 이러한 요구를 충족시키는 방법으로서 음성 및 고속의 데이터를 중계하는 성층권 비행선을 새로운 무선 통신인프라로 활용하는 방안이 대두되고 있다¹⁾.

뿐만 아니라, WRC-2000회의에서 IMT-2000대역에서 HAPS(High Altitude Platform Station)를 지상기지국 대용으로 사용하자는 제안도 통과되어졌다²⁾.

본 논문에서는 성층권 비행선을 이용하여 다중빔을 이용한 셀룰러 시스템을 구성시 이동통신 시스템의 outage 확률을 구함으로써 통신시스템의 성능을 예측하고자 한다. 먼저, II장에서 성층권 무선중계 시스템에 대해 간단히 소개하고, III장에서는 기존의 위성에서의 간섭 모델을 이용하여 성층권 비행선에 적용한 간섭모델을 제시하고 반송파 대 간섭전력비(C/I)와 outage 확률을 유도한 후 비행선을 이용한 셀 구성과 간섭감소기법을 소개한다. IV장에서는 성층권 비행선과 지구국간

의 통신링크에서 존재하는 LOS에 의한 Rician 페이딩에 의한 영향을 고려해 앞에서 유도한 반송파 대 간섭전력비를 계산한 후, 이를 simulation하여 검증한다. 그리고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 성층권 비행선의 특징

먼저, 그림 1은 성층권 무선 중계망의 개념도를 보여주고 있다. 그림에서처럼, 성층권에 띄운 비행선을 사용하여 각종 무선통신 서비스를 제공하며, optical link 또는 지상망에 의해 다른 비행선들과도 연결된다^[1].

성층권 무선중계 시스템은 광역성, 동보성, 망 구성의 유연성, 광대역성 등의 위성의 장점과 수요에 따른 적기 공급, 시설의 유지보수 용이, 짧은 전송 거리로 인한 단말의 소형화, 저전력화 및 짧은 전송 지연 시간 등의 지상 이동통신의 장점을 겸비한 차세대 무선통신에 가장 적절한

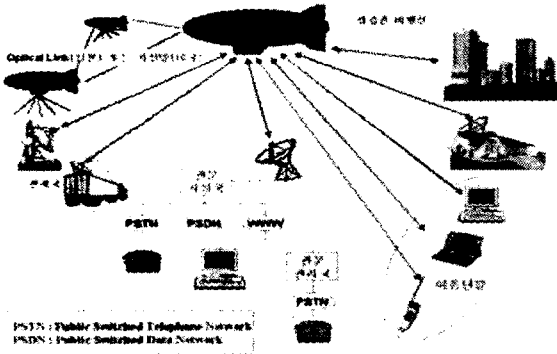


그림 1. 성층권 무선 중계망의 개념도
Fig. 1 The concept picture of stratospheric wireless communication network

시스템으로 예상되고 있다. 또한 이 시스템의 목적은 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 대상지역에 고정/이동 디지털 무선 채널들을 다양한 전송률로 전송하여 양방향 통신이 가능하게 하는 것이다.

성층권 무선중계용 주파수는 WRC-97에서 47.2~47.5GHz 및 47.8~48.1GHz의 상·하향 링크 각각에 300MHz 대역폭을 할당했으나, 좁은

대역폭으로 인해 다양한 서비스 요구를 충족시킬 수 없고 심한 강우감쇠의 영향을 받는다는 단점이 있어, 최근 WRC-2000에서는 18~32 GHz대역과 30GHz이상의 지상무선용으로 분배된 주파수 대역에서의 성층권 통신 시스템 활용 타당성 및 타 시스템과의 공유문제에 관한 연구를 지속하자는 안이 통과되어졌다^[2].

우리 나라에서 성층권 비행선의 운용고도는 20.6~23.8km가 적당한 것으로 알려져 있으며 서비스 커버리지는 성층권 비행선의 운용고도에 따라 요구되는 최소 서비스 양각에 의해 정해지게 된다.

그림 2는 성층권 운용고도를 22km로 가정하여 얻어지는 최소 양각에 따른 성층권 무선중계 시스템의 서비스 지역 및 제공 통신 서비스의 예를 보여준다.

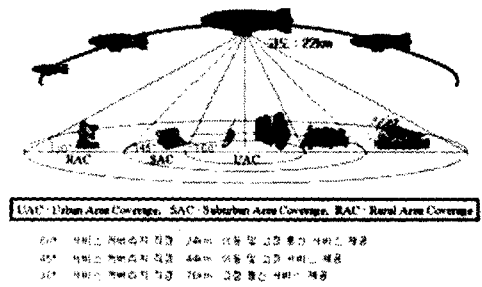


그림 2. 성층권 무선중계 시스템의 서비스 지역 및 제공 통신 서비스의 예

Fig. 2 Example of service area and supplied communication service for stratospheric wireless relay system

III. 성층권 비행선에서의 간섭모델

성층권 비행선에서의 간섭 분석을 위해 기존의 위성에서의 간섭 모델을 적용하였고^[4], 이 때 성층권 비행선의 payload 스펙은 현재 알려진 성층권의 스펙을 그대로 적용하였고, 알려지지 않은 부분은 LEO위성의 스펙을 채택하였다^[3].

1. 반송파 대 간섭 전력비와 Outage 확률

단일 성층권 비행선, 단일 사용자를 가정하면, 각 비행선마다의 간섭 합과 각 사용자마다의 간섭 합은 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) , $i=1, \dots, N_u, j=1, \dots, N_c$ 를 통해 증명할 수가 있다. 통신대상 이동체(wanted mobile)를 집합 (m, n) 로 할당하면, 이 모델의 분석에서 요구되는 각들은 그림 3에 보여진 것과 같다. θ_{ij} 는 통신대상 이동체가 포함된 셀을 커버하는 메인로브의 boresight에 대해 비행선으로부터 사용자 (i, j) 를 바라보는 각이고, α_{ij} 는 사용자 (i, j) 가 비행선을 바라보는 양각이다. 또한, (i, j) 를 (m, n) 로 대체하면 통신대상 이동체에 대해서도 같은 정의가 적용된다^[4].

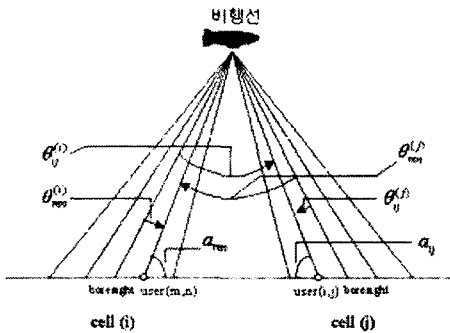


그림 3. 통신 대상 이동체와 간섭하는 터미널의 관심의 각

Fig. 3 Angles of interest for wanted and interfering terminals

본 논문에서는 boresight의 트래킹(tracking) 안테나가 아주 높은 지향성을 가져서 성층권 비행선만 바라본다고 가정하여 하향 링크의 간섭은 고려하지 않는다. 따라서, 역방향 링크의 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 간섭 전력비(signal-to-interference power ratio)는 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

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

여기서, β_{ij} 는 사용자 (i, j) 에서 성층권 비행선까지의 경로감쇠이고, $\epsilon_{ij}(\alpha)$ 는 이동체에 대해 α 방향에서 송신 전력과 안테나 이득의 내적, 그리고 γ_{ij} 와 μ_{ij} 는 각각 직교성 인자와 활동성 인자를 나타낸다.

또한, W 를 (m, n) 로써 주파수 채널을 재사용하

는 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 식(1)는 다음식(2)와 같이 표현되어질 수 있다.

$$C/I = \frac{\beta_{mn} G_n(\theta_{mn})}{\sum_{j=1}^{N_c} \sum_{(i,j) \in W} \beta_{ij} G_n(\theta_{ij})} = \frac{C}{\sum_{(i,j) \in W} I_{ij}} \quad (2)$$

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.

$$P_{out} = \text{Prob}\left\{ \frac{C}{I} \leq \left(\frac{C}{I} \right)_{TH} \right\} \quad (3)$$

2. 셀 구성과 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 커버리지내에 셀구성^[5]은 그림 4와 같다. 그림에서 보는 것과 같이 동일한 안테나 빔 패턴을 사용하였으므로, 셀의 크기가 중심셀에서 멀어질수록 점점 커짐을 알 수 있다.

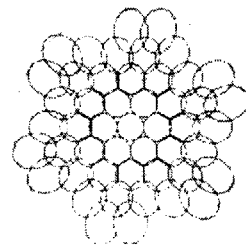


그림 4. 동일한 안테나 빔 패턴을 사용하였을 때의 셀구성

Fig. 4 Cell constellation using equal antenna beam pattern

그리고 셀을 구성하는데 적용한 간섭감소기법^[4]은 중·저궤도 위성에서 고려되어지는 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 그의 주변의 셀들로부터 간섭을 받는다. 그리고 모

든 셀이 같은 주파수를 사용한다.

· 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.

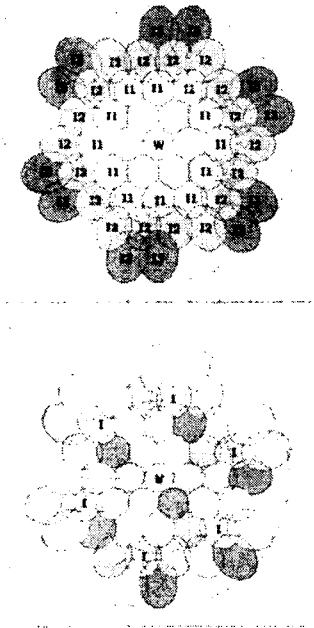


그림 5. 간섭감소기법 A, B를 사용하였을 때의 셀 구성

Fig. 5 Cell constellation using technique A, B for interference reduction

그림 5는 간섭감소기법 A와 B를 사용하였을 때의 셀 구성을 보여주고 있다. 위쪽 그림은 간섭감소기법 A를 사용하였을 경우로서, 원하는 이동체의 셀(W)과 인접한 주위의 6개 셀은 꺼지고 나머지 셀의 간섭원 I1, I2, I3로부터 간섭을 받게 된다. 그리고 아래쪽 그림은 간섭감소기법 B를 사용하였을 경우로서 주파수 스펙트럼을 7개로 나누어 7개의 클러스터를 형성한 후 클러스터 중에서 원하는 이동체의 셀(W)과 같은 주파수를 가지는 셀의 간섭원 I들로부터 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 frequency nonselective 페이딩을 받는다는 가정하에, 시스템의 outage 확률을 측정한다. 이 가정은 전파매체의 전달함수포락선에 대해 Rice 분포를 가정하는 것과 같다. 이 경우에, 식(2)는 페이딩 존재하에서

$$\frac{C_f}{I_f} = \frac{\rho_{mn}C}{\sum_{(i,j) \in W} \rho_{ij}I_{ij}} \quad (4)$$

로 쉽게 수정되어지는데 여기서, C와 $\{I_{ij}\}$ 는 결정적이고, 랜덤변수 ρ 는 자유도 2의 noncentral χ^2 분포^[6]를 한다.

Outage 확률 P_{out} 을 구하기 위해, 참고문헌[7]에서 소개된 분석적인 접근 방법을 사용하여, Z를 두 개의 음이 아닌 랜덤변수의 비, 즉, $Z = C_f/I_f$ 라 하면, Z의 c.d.f., $F_z(Z)$ 는

$$F_z(Z) \cong F_{C_f}(E[I_f]Z) \cong F_{\rho} \left(\frac{K+1}{K} \frac{I}{C} Z \right) \quad (5)$$

로 근사시킬 수 있다. 여기서, $\sigma_c^2 \gg \sigma_i^2$ 일 때 식(7)을 만족하며, $F_{C_f}(C)$ 는 C_f 의 c.d.f.이고, $E[\cdot]$ 는 통계적 평균을 나타낸다.

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

$$P_{out} = \text{Prob} \left\{ \frac{C_f}{I_f} \leq \left(\frac{C}{I} \right)_{TH} \right\} = F_{C_f/I_f} \left(\left(\frac{C}{I} \right)_{TH} \right) \quad (6)$$

식(7)과 (8)에서, outage 확률은 단지 Rice 인자와 C/I 에 따라서만 결정되어진다는 것을 알 수 있다.

2. Simulation

먼저 IV장에서 본 outage 확률을 구하는 방법의 응용으로, 그림 6에서는 100개의 다른 (C, I_{ij}) , $(i, j) \in W$ 패턴에 의해 구해지는 C/I 값에 대한 outage 확률 P_{out} 을 시뮬레이션하여 식(8)에서 구한 값과 비교하였다. 이 때 $(C/I)_{TH} = 10dB$ 이고 페이딩심도 K 는 $5dB$ 이며, 계산 값과 시뮬레이션 값이 서로 아주 유사하게 나옴을 알 수 있다.

그림 7은 특정 C/I 값에 대해 간섭감소기법을 사용하지 않았을 때, 페이딩심도 ($K=0.5, 10, 15dB$) 값에 따른 outage 확률을 보여주는 것으로, $(C/I)_{TH}$ 값과 K 값이 증가되어 질수록 outage 확률은 점점 작아진다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 페이딩심도 K 가 5dB일 때, 간섭감소 기법을 적용하지 않았을 때와 간섭감소기법 A, B를 적용하였을 때의 outage 확률을 보여준다. 간섭감소기법을 적용하지 않았을 때보다는 간섭감소기법을 적용하였을 때의 outage 확률이 더 작으며, 간섭감소기법 A보다는 B를 적용하였을 때 outage 확률이 더 작게 나온다.

그림 9와 그림 10은 간섭감소기법 A와 B를 적용했을 때, 페이딩심도 K 값에 따른 보통의 경우와 최악의 경우의 outage 확률을 보여준다. 페이딩심도 K 값에 의한 outage 확률은 그림 7에서와 마찬가지로 K 값이 증가될수록 작게 나오며, 보통의 경우와 최악의 경우는 보통의 경우가 더 작게 나왔다. 여기서, 보통의 경우라는 것은 간섭원과 통신대상 이동체가 셀 중심에 위치할 경우를 말하며, 최악의 경우는 간섭원과 통신대상 이동체 사이의 거리가 최대로 가까워진 경우를 말한다.

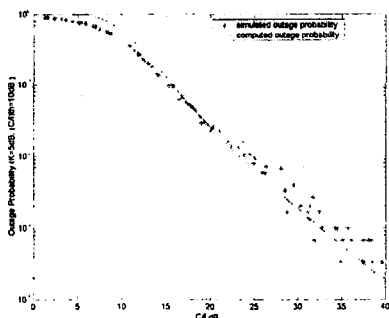


그림 6. 계산되어진 outage 확률과 시뮬레이션된 outage 확률의 비교.

Fig. 6 Comparison of computed (continuous line) and simulated (star-mark) outage probability.

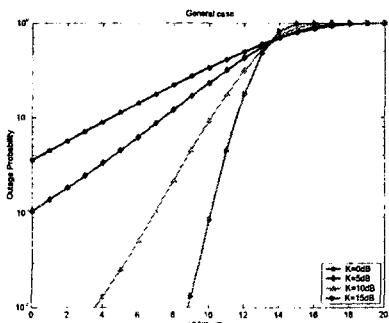


그림 7. 간섭감소기법을 사용하지 않았을 때, 페이딩 심도 K 값 ($k=0, 5, 10, 15$ dB)에 따른

outage 확률

Fig. 7 Outage probability for fading depth K values ($k=0, 5, 10, 15$ dB) when not using technique for interference reduction

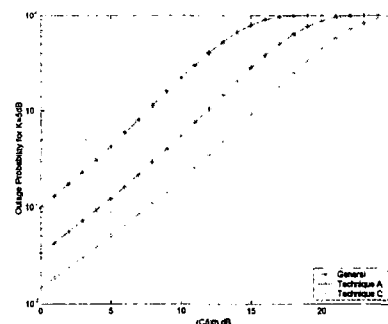


그림 8. 특정 K 값(5dB)에서, 간섭감소기법을 적용하지 않았을 때와 간섭감소기법 A, B를 적용하였을 때의 outage 확률

Fig. 8 Outage probability with and without technique A, B for interference reduction in specific K value (5dB)

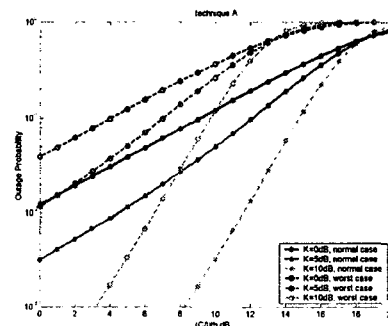


그림 9. 간섭감소기법 A를 적용한 경우, 페이딩 심도 K 값에 따른 보통의 경우와 최악의 경우의 outage 확률

Fig. 9 Outage probability using Technique A normal case and worst case for fading depth K

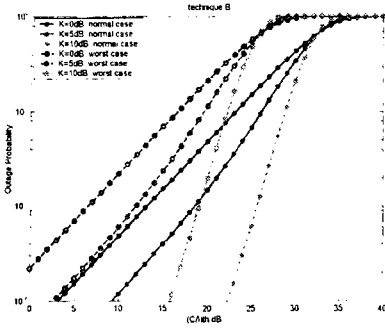


그림 10. 간섭감소기법B를 적용한 경우, 페이딩 심도 K 값에 따른 보통의 경우와 최악의 경우의 outage 확률

Fig. 10 Outage probability using Technique B normal case and worst case for fading depth K

V. 결 론

위성의 해석모델을 성층권 비행선을 이용한 이동통신 시스템에 적용하였을 때의 outage 확률을 구하고 이를 시뮬레이션하여 검증하였다. Outage 확률은 페이딩심도 K 와 반송파대 간섭전력비 C/I 에 의해 결정되며, 이때 간섭을 줄이기 위해 간섭감소기법A (Spot Turn-Off)와 B (Interorbital Plane Frequency Division) 두 가지를 적용하였다.

페이딩이 없을 때의 반송파 대 간섭전력비가 outage 확률에 결정적인 영향을 미치는데, 기법 A의 경우에는 기법B보다 높은 간섭 전력을 지녀 결과적으로 높은 반송파 대 간섭 전력비를 얻지 못하였다. 그리고 일정한 C/I 에 대해 페이딩 심도 K 값이 클수록, 일정 K 값에 대해 C/I 값이 클수록 outage 확률이 낮음을 알 수 있었다.

접수일자 : 2000. 9. 6. 수정완료 : 2000. 10. 24

참고문헌

[1] 안도섭, 이재현, 박광량, 박종홍, 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 제 17권 제 7호, pp.74-79, 2000, 7.

[3] G. Maral, J.J. de Ridder, B.G. Evans, and M. Richharia, “Low Earth Orbit Satellite Systems for Communications,” *International Journal of Satellite Communications*, Vol. 9, pp. 209-225, 1991.

[4] 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.

[5] 안도섭, 엄만석, 박광량, 김재명, “성층권 무선 중계 시스템의 셀 구성방식에 따른 탑재 안테나 패턴 연구,” 한국통신학회 추계 종합 학술발표회 논문집, 1998.

[6] J. G. Proakis, *Digital Communications*, New York: McGraw-Hill, 1983.

[7] 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.



고봉진(BongJin Ko)

正會員

1986년. 한국항공대학교 통신공학과 졸업(공학사)

1988년 한국항공대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1995년 한국항공대학원 전자공 졸업(공학박사)
1994년-1996년 인하공업전문대학 통신과 조교수
1996년-현재 (국립)창원대학교 전자공학과 부교수

관심분야 이동통신 통신이론 위성통신



김혜영(HyeYoung Kim)

準會員

1999년 창원대학교 전자공
학과 졸업(공학사)

1999년-현재 창원대학교
대학원 전기전자제어공학과
석사과정

주관심분야 위성통신



조성언(Sung Eun Cho)

正會員

1989년 한국항공대학교 항공
통신정보공학과 졸업(공학사)

1991년 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학과 졸업
(공학석사)

1997년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과
졸업(공학박사)

1991년-1992년 한국항공대학교 항공통신정
보공학과 조교

1997년-1999년 (국립)순천대학교 공과대학
정보통신공학과 전임강사

1999년-현재 (국립)순천대학교 공과대학
정보통신공학과 조교수

2000년-현재 (국립)순천대학교 공과대학
정보통신공학과 학과장

2000년-현재 (국립)순천대학교 공과대학
전자계산실 실장

관심분야 Wireless Communication,
전자파환경공학
