

논문 2008-45TC-6-4

HAPS 기반의 HSDPA 시스템 성능 분석

(System Performance Analysis on HAPS-HSDPA Mobile System)

김 남 겸*, 손 인 수**, 이 진 구**

(Namkyeom Kim, Insoo Sohn, and Jingu Lee)

요 약

현대에는 언제 어디서나 자신이 원하는 데이터를 빠르게 접할 수 있는 서비스가 요구되고 있고 이것을 반영하듯이 많은 시스템들이 개발되었다. 특히 HSDPA (High Speed DATA Packet Access)의 경우 최대 14.4Mbps의 데이터 수율을 가져 3세대 이동통신으로 각광을 받고 있다. 하지만 HSDPA의 경우도 지상망 시스템인 관계로 LOS (Line of Sight)가 보장되지 못해 이것은 다중 페이딩에 의한 데이터 수율의 악화로 나타난다. 이러한 문제는 HAPS(High Altitude Platform Station)를 사용하게 되면 해결이 된다. HAPS는 비행선을 이용한 시스템으로 LOS의 보장뿐만 아니라 기존의 지상망 이동통신에 접목해 좀 더 높은 성능을 낼 수 있다. 이 논문에서는 HAPS 시스템을 HSDPA 시스템과 결합한 시스템 모델을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하고 가능성을 살펴본다.

Abstract

Today, there are many high speed data access systems that provide the truly "anytime and anywhere" services. Especially, HSDPA (High Speed Data Packet Access), one of the main third generation mobile communication systems, provides 14.4Mbps maximum data throughput. However, HSDPA will fail to provide high data throughput in hostile multipath fading environments due to lack of LOS (Line of Sight). HAPS (High Altitude Platform Station) is one of the solutions to this problem. HAPS system not only provides LOS, but it can also provide high data rate services to the conventional terrestrial systems. This paper proposes HAPS-HSDPA system model and compares performance of HSDPA and HAPS-HSDPA.

Keywords : HAPS, HSDPA, Propotional Fairness algorithm, throughput

I. 서 론

최근에 들어와서 고속으로 이동하면서 어디서나 원하는 시간에 실시간으로 음성이나 파일 전송, 인터넷, 영상 매체 등과 같은 고속 데이터 전송 서비스가 요구되고 있는 가운데, 이동통신의 급격한 발달로 이러한 것들을 만족할 수 있는 여러 시스템들이 많이 개발되었고, 이 중에서 3G로 분류가 되는 HSDPA가 큰 관심을

받고 있다.

그러나 현재까지 개발되어왔던 대부분의 통신 시스템들이 그러하듯이 HSDPA 역시 지상망을 이용한 시스템으로서 도심 속과 같은 건물이 많은 곳이나 장애물이 많은 곳은 통신 범위가 한정적일 수밖에 없다. 즉, LOS가 확보되지 않아서 페이딩에 의한 데이터 손실이 있고 음영지역에는 다양한 형태의 중계기들을 이용해야 하므로 비용문제도 만만치 않다. 이러한 문제는 HAPS를 이용하게 되면 해결할 수 있다. HAPS는 약 20~23 km 상공에 위치하고 있는 성층권에 비행선을 띄워서 위성의 역할을 하게 하는 것으로 위성의 장점을 가지되 비용 면에서도 훨씬 위성보다 경제적이다.

만일 HSDPA와 HAPS 시스템의 장점을 살려서 새로운 시스템을 만들면 좀 더 좋은 성능을 보일 것이다.

* 학생회원, ** 정회원, 동국대학교 전자공학과
(Department of electronic engineering., Dongguk University)

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음. (동국 MINT R11-1999-058-00000-0)

접수일자: 2008년2월1일, 수정완료일: 2008년6월19일

이러한 취지로 본 논문에서는 HSDPA 시스템에 HAPS를 적용시켜 그 가능성을 살펴보고, 성능을 분석하고자 한다.

본 논문의 구조는 서론에 이어서 II장에서는 HAPS의 개념과 HAPS 시스템을 이용한 다양한 모델들을 살펴본다. III장에서 본 논문에서 제안한 시스템 모델을 설명하고, IV장에서 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 하며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. HAPS 시스템

HAPS 시스템은 대류권과 중간권 사이인 성층권에 통신탑재체를 싣고 있는 비행선을 이용한 성층권 통신 시스템으로 ITU (International Telecommunication Union)에서 채택된 공식 용어이다. 지상망 기지국 대신에 통신 및 방송 서비스, 원격탐사, 전파감시 등의 각종 무선 응용 서비스 제공을 목적으로 한다^[1].

그 동안 36,000km 상공의 정지궤도위성과 700~10,000 km 상공의 중·저궤도 위성에 의한 통신 및 방송중계가 활용되고 있으나, 위성 발사에 많은 비용과 오랜 개발 기간이 소요되고, 지상수신기의 소형화에 제약이 많다. 또한 한번 쏘아 올린 위성은 다시 회수해 수리를 할 수 있는 여건이 거의 안 되어 있으며, 데이터 전송을 위한 전파의 출력도 상당히 커야 한다.

하지만 HAPS 시스템의 경우 위성에 비해 고도가 낮기 때문에 데이터 전송 거리가 짧아지고 이로써 데이터 손실과 지연이 적어져 전파의 출력도 적게 소요된다. 또한 위성보다 시스템 비용이 상당히 절감되며, 시스템의 유지보수가 쉬워서 위성보다도 수명이 훨씬 길다. 광역통신도 가능해 대용량 회선 공급도 가능하다^[2]. 비행선과 중계기 동작에 요구되는 전력은 낮에는 비행선 표면에 장착된 태양 전지, 밤에는 연료 전지에 의해 공급된다.

HAPS 시스템은 다음 그림 1에서 보듯이 위성보다는 셀 반경이 작지만 여러 개의 비행선들이 상호간의 통신을 통해 거리를 조절하고 핸드오버 (Handover)가 발생할 경우 데이터를 주고받는 역할도 할 수 있다. 또한 사용자 각각의 채널의 상태에 따라 다른 데이터 수율로 데이터를 전송 할 수 있도록 한다^[3]. 하지만 HAPS 시스템이 아무리 광대역을 지원할 수 있는 시스템이라 하더라도 위성망 수준의 넓은 지역을 통제할 수 없으므로 제한을 두어야 하는데 반경 200km 정도의 크기에 좀 더 작은 셀로는 1~10km 정도로 나누게 된다^[4].

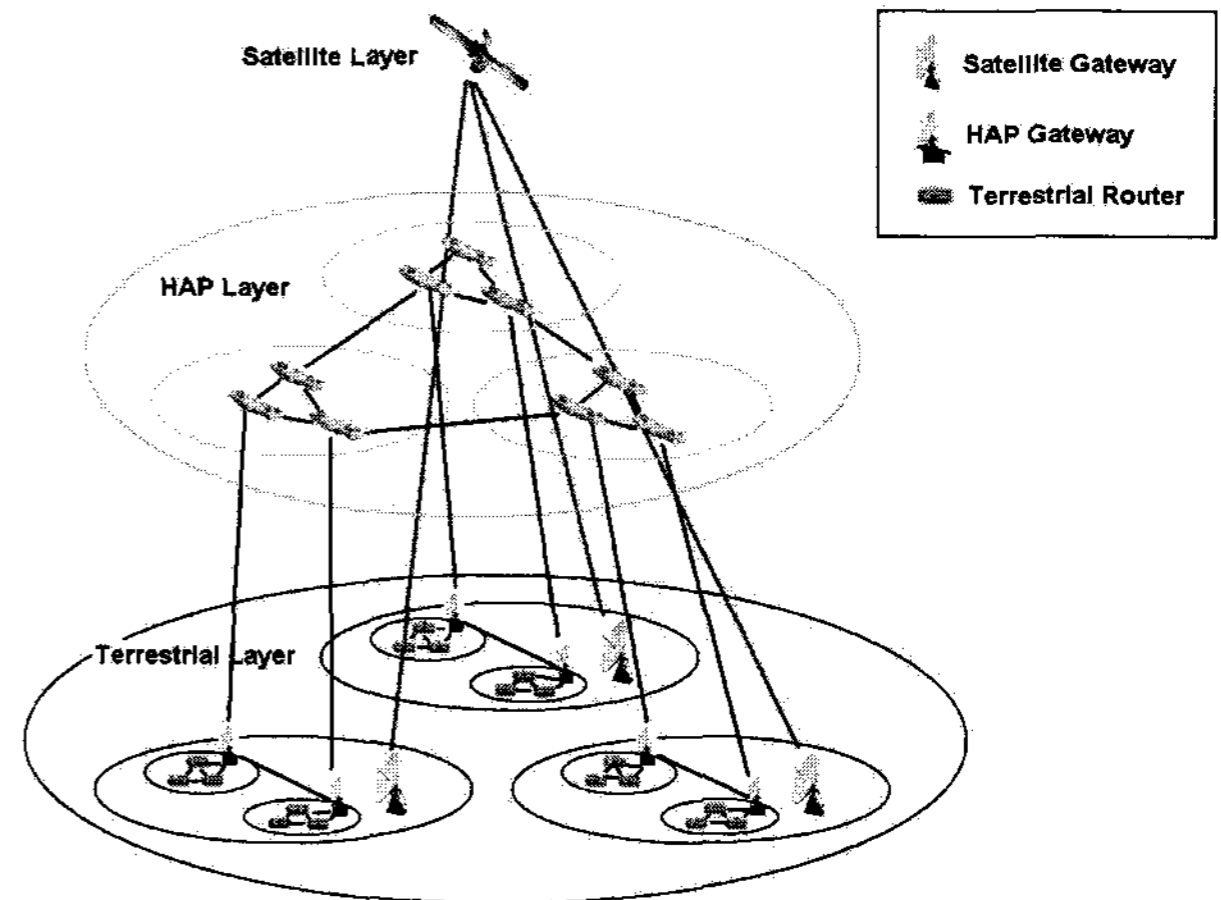


그림 1. 위성과 HAPS 시스템
Fig. 1. Satellite and HAPS system.

HAPS 시스템은 기본적으로 30GHz 대역의 초고주파를 사용하므로 기본적으로 LOS의 확보가 되어야 하며, 안테나에 의해 민감하게 데이터 전송률이 바뀌므로 안테나의 높은 양각(仰角)의 유지가 필수적이다.

이러한 HAPS 시스템 이용한 시스템 모델들은 다음과 같은 것들이 있다.

1. HAPS-WiMAX 시스템

현재 IEEE 802.16a로 표준화되어 있는 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)를 HAPS 시스템과 결합한 모델이다. 기존의 지상망 시스템이 존재하는 가운데에 비행선을 띄워서 HAPS 시스템의 서비스를 받을 수 있도록 하기 때문에 기존의 지상망 셀과 HAPS 서비스 셀이 겹치는 부분이 발생한다. 이러한 부분에서는 지상망 시스템에서 오는 간섭이 심하기 때문에 높은 차수의 변조 방식을 사용할 수 없고 BPSK 정도 밖에 사용할 수가 없다. 만약 높은 차수의 변조방식인 64QAM을 사용하게 되면 높은 양각을 유지해야만 한다^[5]. 하지만 이 시스템에서도 넓은 커버리지를 갖는다는 장점이 있다. 그러므로 지상망 기지국만큼의 많은 개수의 비행선을 설치할 필요는 없다.

2. HAPS-CDMA 시스템

이 시스템 모델은 기존의 CDMA 방식을 HAPS 시스템에 결합한 형태이다. 이 시스템 역시 기존의 지상망이 있는 가운데에 HAPS 시스템이 동작한다. 하지만 이 경우에는 HAPS-WiMAX만큼 지상망에서 간섭을 받지 않는다. HAPS 서비스 셀의 위치를 잘만 조정한다면 넓은 커버리지를 가지는 좋은 시스템 모델이 된다.

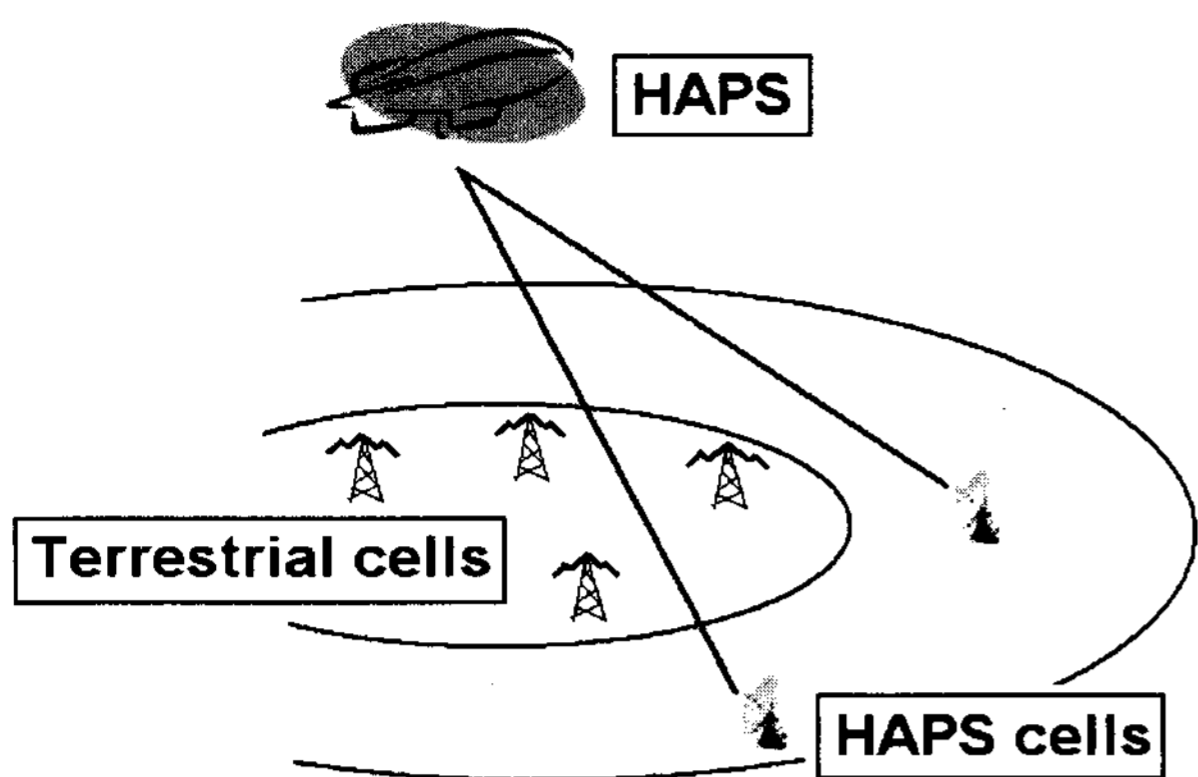


그림 2. HAPS-CDMA 시스템 모델
Fig. 2. HAPS-CDMA system model.

다. 그림 2와 같이 기존의 지상망 셀을 안쪽에 배치하고 지상망 기지국으로부터 멀리 있어서 커버하기 어려운 부분을 HAPS 서비스로 대체하게 되면 지상망 셀과 HAPS 셀이 겹쳐지게 존재하는 것보다 시스템 용량이 커지게 된다^[6].

III. HAPS-HSDPA 시스템

1. 시스템 모델

본 논문에서는 기존의 HSDPA와 HAPS 시스템을 결합한 HAPS-HSDPA 시스템 모델을 제안한다. 이 모델은 그림 3에 나타내어져 있다시피 셀 반경은 1km로 고정하고 가운데 셀에 있는 사용자를 측정하게 된다. HAPS 비행선의 높이는 20km로 고정시켰다. 주변의 2 tier의 간섭 HAPS 셀이 존재하고 그 주변에 1 tier의 기존의 지상망 시스템의 간섭이 존재한다. 1 tier바깥의 지상망 시스템은 전부 노이즈 형태로 간섭을 일으킨다고 가정한다.

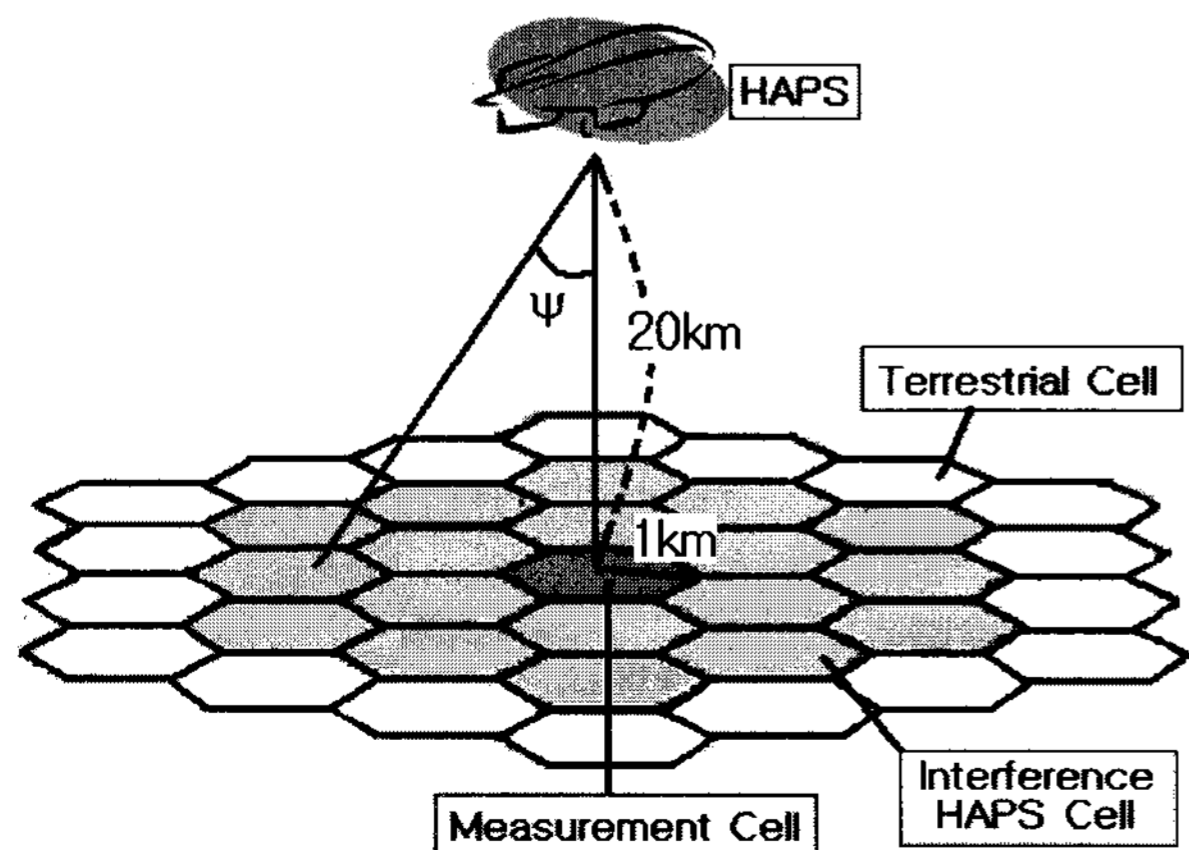


그림 3. HAPS-HSDPA 시스템 모델
Fig. 3. HAPS-HSDPA system model.

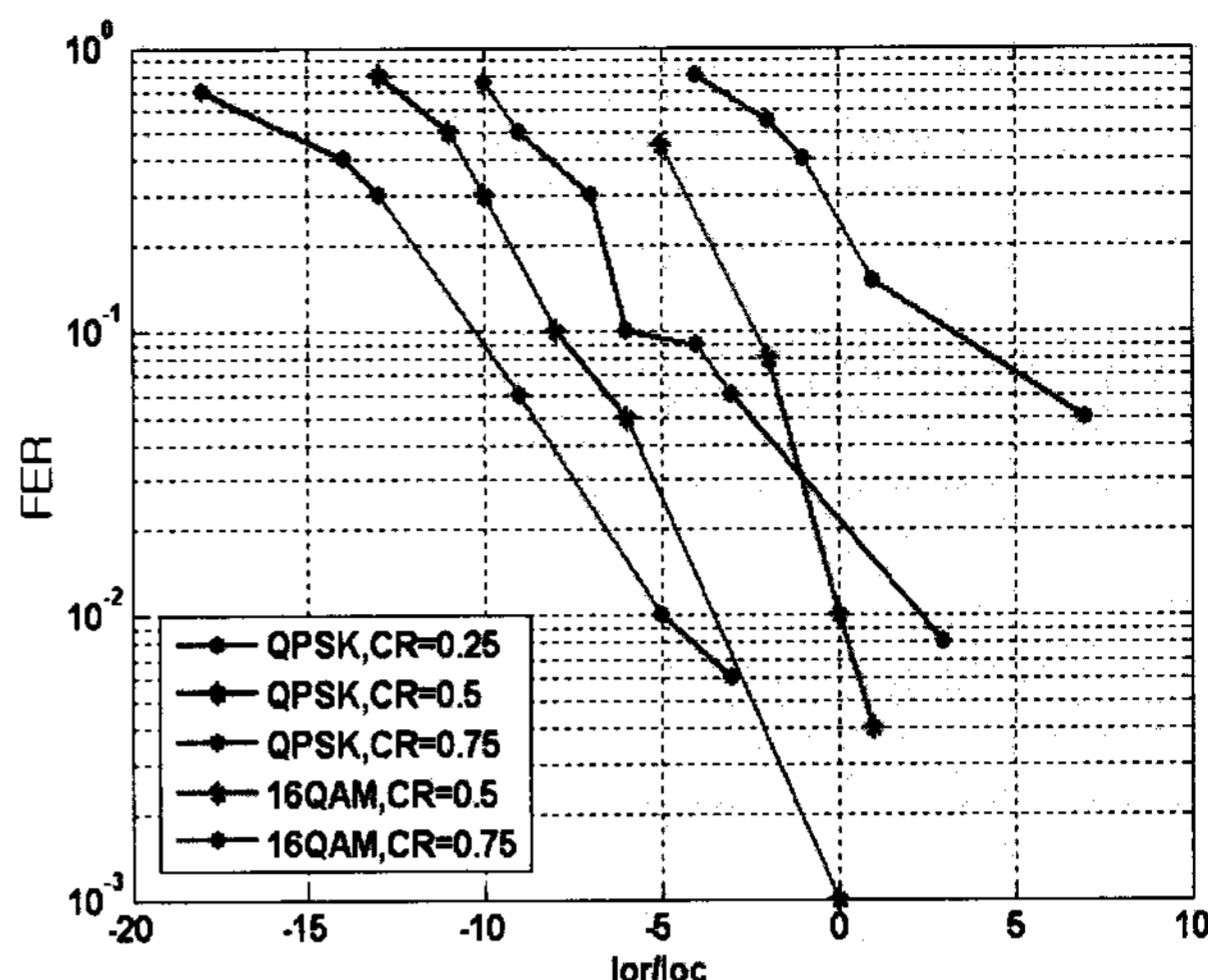


그림 4. MCS 레벨
Fig. 4. MCS level.

데이터 패킷의 트래픽 모델은 웹을 기반으로 한 HTTP(Hypertext Transfer Protocol)이다. 이후에 각 사용자의 위치에 따라 채널과 안테나 이득을 결정하고 CINR (Carrier-to-Interference Noise Ratio)이 결정된다. CINR에 따라 ACK/NACK이 결정되고, 만약 NACK일 경우에는 재전송을 요구한다. 데이터가 전송될 경우 CINR에 의해 그림 4에 나타낸 MCS 레벨에 따라 변조방식과 코드율이 결정되고 이것에 의해 패킷 데이터가 전송된다^[8]. 이러한 루프가 한 TTI인 2ms마다 계속 반복된다.

셀 안에서 사용할 수 있는 전체 코드 수는 15개로 고정했다. 만약 사용자가 15명이 넘게 되면 비례공정 (Proportional Fair) 알고리즘에 의해서 사용자에게 코드를 분배하게 된다.

비례공정 (Proportional Fairness) 알고리즘은 사용자의 채널정보와 이전에 서비스 받은 정보를 이용하여 매 TTI마다 서비스 받을 사용자를 선택하는 기법으로 다음 (1)과 같이 정의된다.

$$p^*[n] = \arg \max_p (R_p[n] / \bar{R}_p[n]) \quad (1)$$

여기서 $R_p[n]$ 은 n 번째 타임 슬롯에서 p 번째 사용자가 받을 수 있는 최대 전송속도를 나타낸다. 다음 $\bar{R}_p[n]$ 는 (2)와 같이 정의되며, 이전에 받았던 데이터의 전송속도를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \bar{R}_p[n] = & (1 - a)\bar{R}_p[n - 1] \\ & + aR_p[n]\delta[p^*[n] - p] \end{aligned} \quad (2)$$

$\delta[\cdot]$ 는 dirac-delta 함수이며, a 는 시상수로 0.001 정도의 값을 갖고 결국엔 $p^*[n]$ 이 큰 사용자부터 코드를 할당 받게 된다^[7].

2. 채널 모델 및 안테나 모델

이 시스템에서는 레일리(Rayleigh) 페이딩 채널 모델 중에 제익스(Jake's) 페이딩 채널을 사용했다. 이 페이딩은 레일리 페이딩에 속도에 따른 도플러 주파수(Doppler Frequency)에 의한 딜레이 효과를 줄 수 있어서 가장 보편적으로 사용되고 있다. 사용자의 속도에 따라 Pedestrian A 채널을 사용했으며 각 속도는 10km/h와 3km/h를 주었다. 또한 섀도우잉(Shadowing)을 각 사용자마다 주어서 좀 더 현실적인 채널 모델링을 했다. 비행선에 의한 HAPS 셀의 사용자들은 LOS가 보장되므로 신호의 패스로스(Pathloss)는 HAPS 셀과 지상망 셀이 각각 다르도록 설정했다. (3)이 지상망에서 들어오는 신호의 패스로스이고 (4)가 비행선에서 들어오는 신호의 패스로스이다^[9].

$$pathloss(dB) = 148.7 + 40\log(dist.inkm) \quad (3)$$

$$pathloss(dB) = 32.44 + 20\log(dist.inkm) + 20\log(freq.inMhz) \quad (4)$$

각 사용자의 CINR 값은 (5)와 같이 계산된다. 현재 사용자가 받고 있는 신호인 C 이외에 것들은 같은 전부 간섭으로 취급해서 I 부분에 들어가게 된다. N_F 는 백색 가우시안 노이즈(AWGN)이다.

$$CINR = \frac{C}{I + N} = \frac{P_{S,N}A_{S,N}(\psi)L_{S,N}F_{S,N}S_{S,N}}{\phi \sum_{C=1}^{N-1} I_C + \sum_{H=1}^{K-1} I_H + \sum_{T=1}^M I_T + N_F} \quad (5)$$

여기서 $P_{S,N}$ 은 현재 신호를 받고 있는 사용자의 신호 세기이며, $A_{S,N}(\psi)$ 은 양각 ψ 에 따른 안테나 이득이다. $L_{S,N}$ 은 사용자의 패스로스, $F_{S,N}$ 은 페이딩, $S_{S,N}$ 은 섀도우잉이다. ϕ 는 non-orthogonality 이며 0.1의 값을 가진다.

$$\begin{aligned} I_C &= P_{C,N}A_{C,N}(\psi)L_{C,N}F_{C,N}S_{C,N} \\ I_H &= P_H A_H(\psi)L_H F_H S_H \\ I_T &= P_T L_T F_T S_T \end{aligned} \quad (6)$$

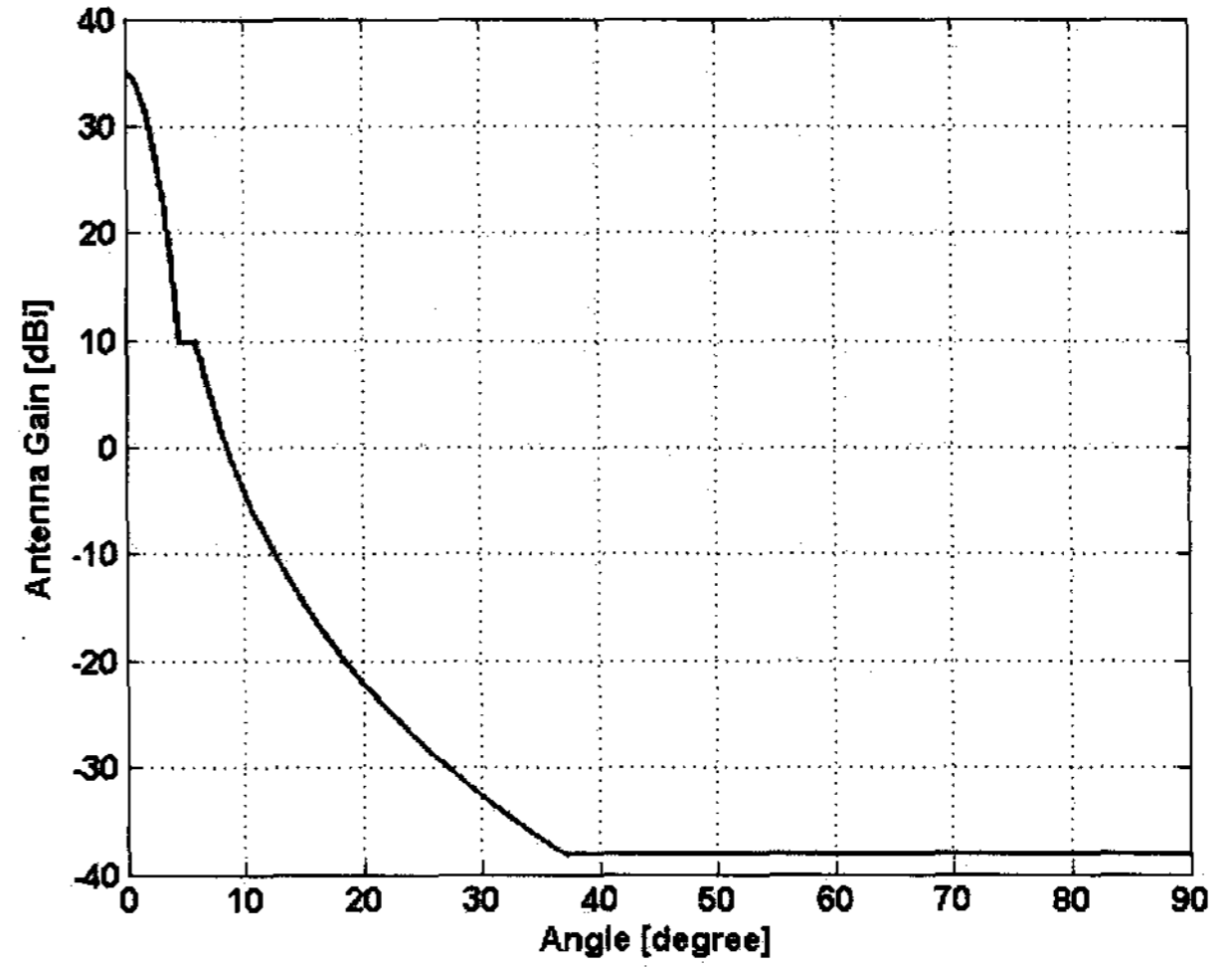


그림 5. 안테나 빔 패턴
Fig. 5. Antenna beam pattern.

I_C 는 현재 신호를 받고 있는 사용자 외에 같은 HAPS 셀 안에 있는 다른 사용자의 간섭 신호이며, I_H 는 간섭 HAPS 셀 사용자의 신호, I_T 는 지상망 사용자의 간섭 신호이다. 마찬가지로 P, A, L, F, S 는 각각 신호 세기, 안테나 이득, 패스로스, 페이딩, 섀도우잉을 나타낸다.

모든 HAPS 셀 안에서의 신호는 비행선에 탑재된 안테나에 의해 이득이 존재하는데 그것은 양각 ψ 에 따르며 그림 5와 같이 나타내어지고 식은 다음과 같다^[8].

$$A(\psi_i) = \begin{cases} 34.8 - 3\left(\frac{\psi}{1.57}\right)^2, & 0^\circ \leq \psi \leq 4.53^\circ \\ 9.8, & 4.53^\circ \leq \psi \leq 5.87^\circ \\ 55.95 - 60\log(\psi), & 5.87^\circ \leq \psi \leq 37^\circ \\ -38.2, & 37^\circ \leq \psi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (7)$$

IV. 모의실험 및 성능 분석

본 논문에서 제안한 시스템을 시뮬레이터를 통해 성능 분석을 하였다. 먼저 그림 6을 살펴보면, 사용자에 대한 셀 수율을 나타냈다. 우리가 주목할 점은 셀 안에 사용자가 25명일 때 최고 셀 수율을 가진다는 것이다. 최대 코드가 15개인데도 불구하고 25명일 때 최대 셀 수율을 나타내는 이유는 사용자가 15명일 때보다 25명일 때 상대적으로 기지국 주변에 사용자가 많이 분포가 되기 때문이다. 즉, 채널 상황이 좋은 기지국 주변 사용자들이 코드를 많이 점유하고 있게 되는 것이고, 현재 코드를 가지고 있는 사용자의 신호가 주변의 간섭 셀

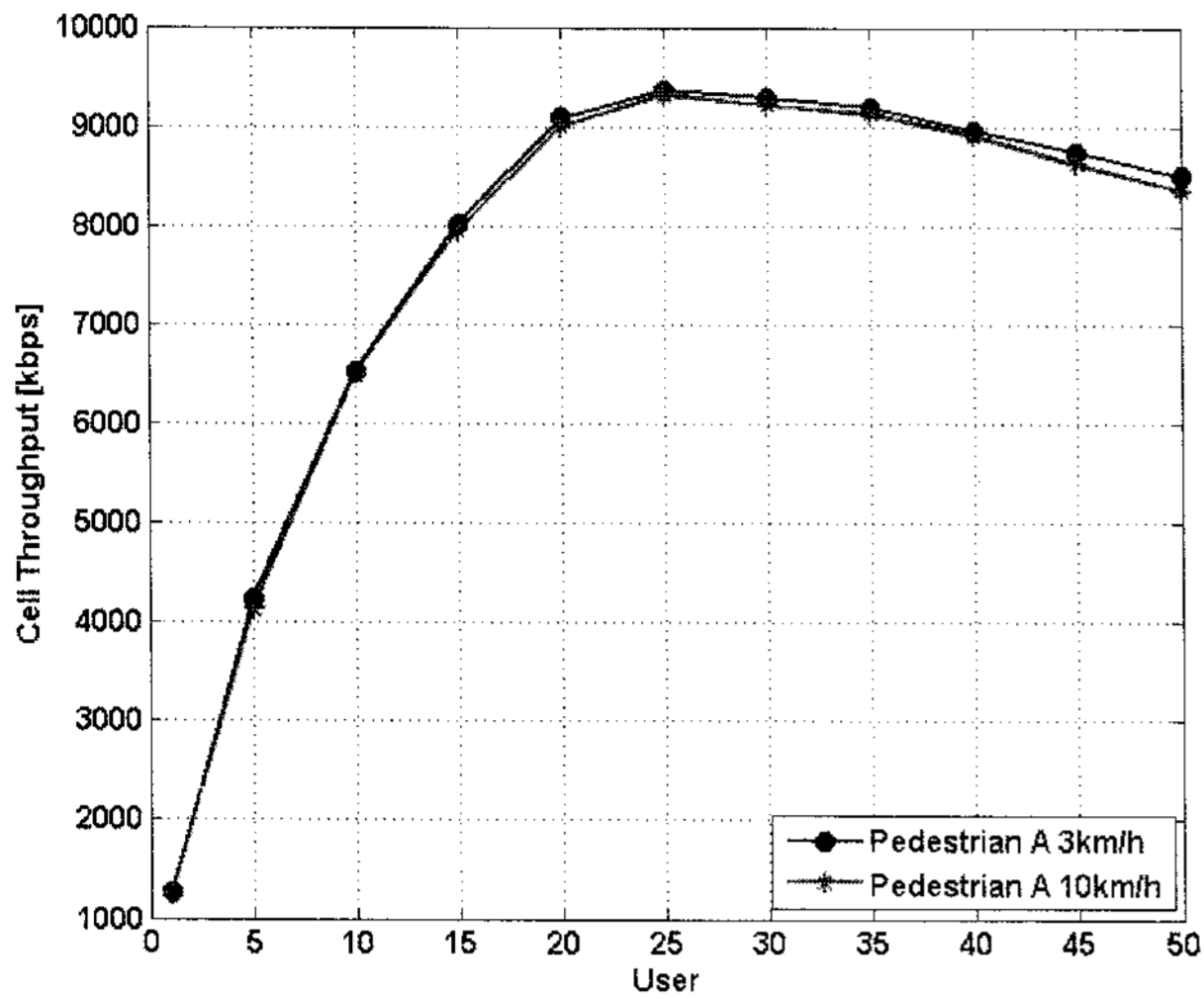


그림 6. 사용자에 대한 셀 수율
Fig. 6. Cell throughput versus users.

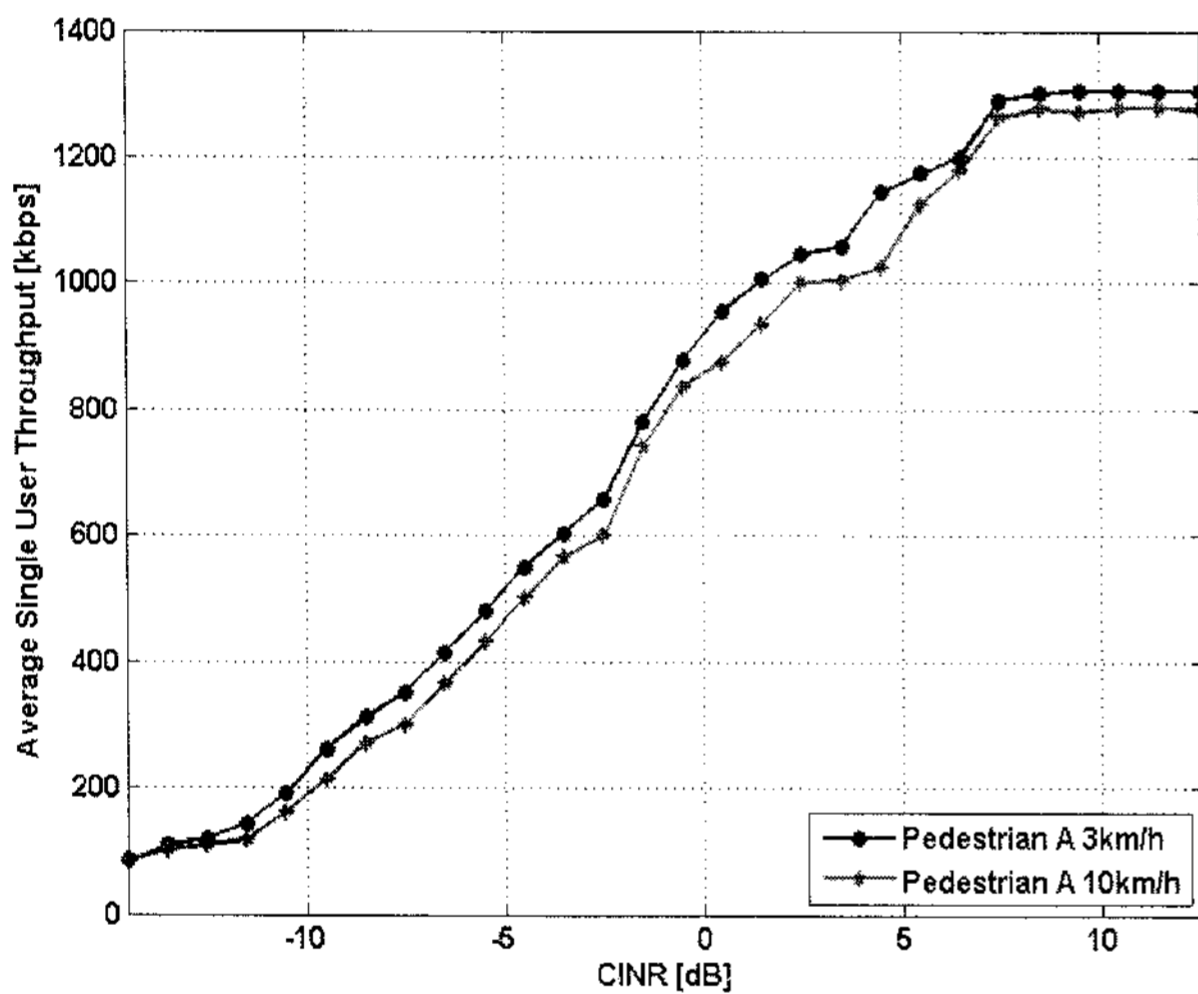


그림 7. CINR에 따른 평균 사용자 수율
Fig. 7. Average single user throughput versus CINR.

사용자의 간섭신호와 상충이 되어서 가장 좋은 셀 수율을 가질 수 있는 순간이 사용자가 25명일 때인 것이다. 이때 셀 수율은 최대 약 9.4Mbps까지 나온다.

그림 6을 다시 살펴보면 25명에서 최고 셀 수율을 가지고 이후에 성능이 떨어지게 되는데, 이것은 사용자가 많아짐으로 인해 주변 간섭 셀에 의해 들어오는 간섭이 커지고 이에 따라 채널 상태가 나빠져 전체적으로 낮은 변조방식과 코딩율을 가지고 데이터가 전송이 되기 때문이다.

속도 면에서 살펴보면 3km/h의 속도로 사용자가 이동했을 때가 이동속도 10km/h일 때 보다 상대적으로 좋게 나왔다. 속도에 의한 차이는 그림 7과 8에서 보던 더 분명해 진다. 그림 7은 사용자를 25명으로 고정하고 CINR에 따른 평균 사용자 수율을 본 것인데 CINR이

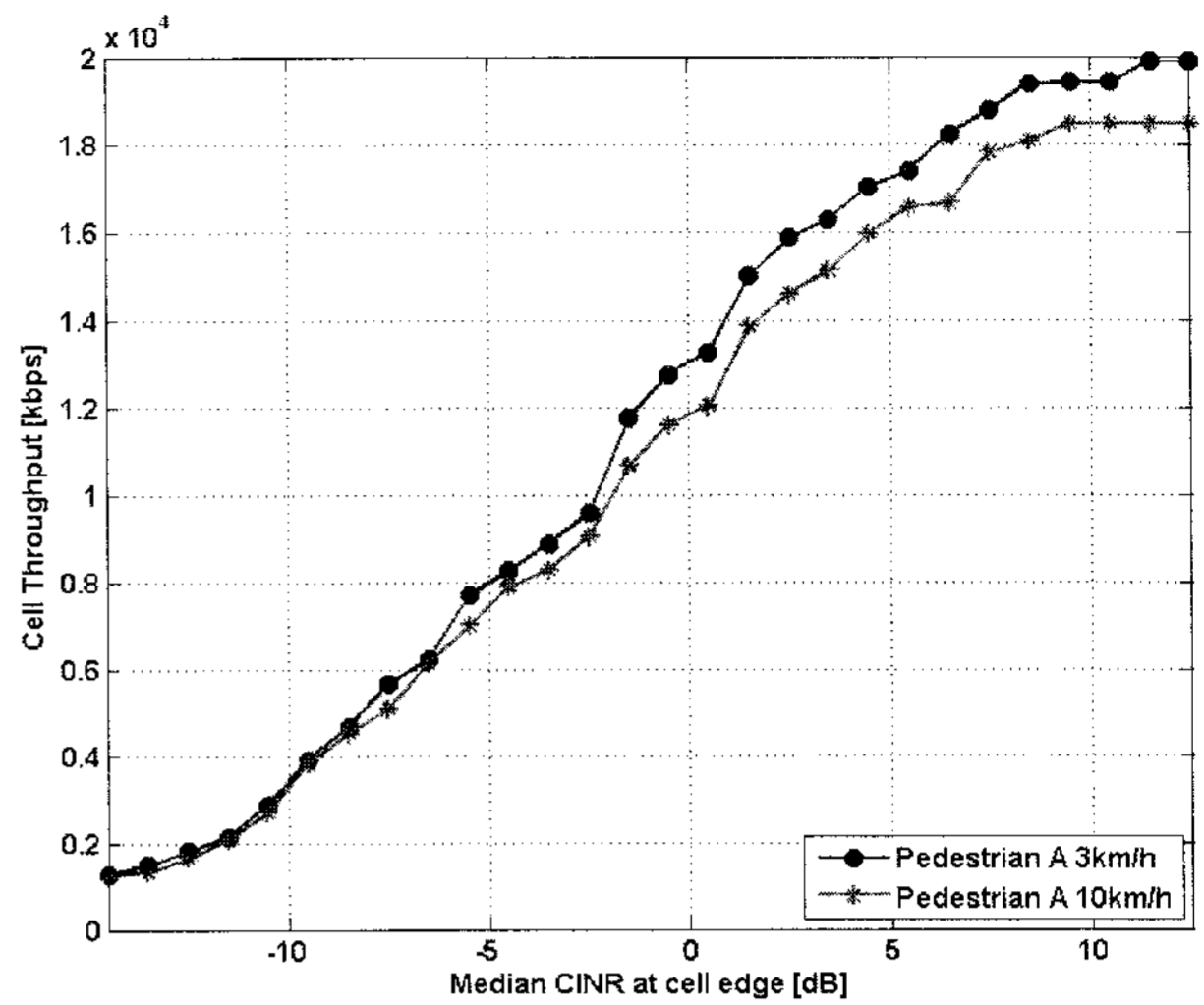


그림 8. CINR에 대한 셀 수율
Fig. 8. Cell throughput versus median CINR at cell edge.

표 1. HSDPA와 HAPS-HSDPA의 성능 비교
Table 1. Comparison of performance on HSDPA and HAPS-HSDPA.

			Maximum Cell Throughput
HSDPA			14.4 Mbps
HAPS-HSDPA	Velocity	3 km/h	19.5 Mbps
		10 km/h	18.2 Mbps

8dB에서 최대 1.3Mbps까지 나온다. HAPS 셀 끝부분에서 살펴본 CINR에 의한 셀 수율이 그림 8에 나타나 있다. 이것을 살펴보면 역시 약 8dB에서 19Mbps 정도의 성능을 보인다.

그림 7과 그림 8에서 살펴보면 CINR이 높아질수록 속도에 의한 수율의 차이는 커지는데 이것은 간섭의 영향 때문이다. 즉, 사용자가 많아지거나 채널상태가 좋지 않게 되면 속도에 의한 도플러 분산(Doppler Spreading)의 영향보다 채널의 상태가 더 큰 영향을 주기 때문에 낮은 CINR을 가질 때에는 속도에 의한 차이가 거의 없다. 하지만 높은 CINR을 가지게 되면 채널 상태보다 도플러 분산에 의한 효과가 더 큰 영향을 주기 때문에 속도에 따른 성능 차이가 커지게 된다.

표 1은 기존의 HSDPA와 본 논문에서 제안한 HAPS-HSDPA의 성능 비교표이다. HSDPA의 경우 최대 HS-DSCH에 할당된 최대 코드 수는 15개인 경우이다^[10].

HSDPA가 16QAM으로 변조하고 코드율을 최대로

하며 이동하지 않는 고정된 사용자인 경우 14.4Mbps를 가지는 반면에 본 논문에서 제안한 HAPS-HSDPA 방식은 16QAM으로 변조하고 코드율을 3/4로 했으며 이동속도가 3km/h일 경우 최대 19.5Mbps까지 나오게 된다. 상당히 높은 성능을 보인다.

최대 셀 수율이 아니더라도 HAPS시스템이 기존의 지상망 기지국보다 간섭 신호의 영향을 덜 받기 때문에 낮은 CINR을 가지는 상황일지라도 기존의 HSDPA보다 높은 성능을 낼 수 있으리라 생각된다.

V. 결 론

지상망 시스템에서는 LOS가 보장되지 않아 다중 페이딩이 발생하게 되고 이에 따른 데이터 수율의 감소가 나타난다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고 데이터 수율을 높이기 위해 기존의 HSDPA 시스템에 HAPS 시스템을 결합한 모델을 제안했고 그 성능을 분석해 보았다. 결과적으로 기존의 HSDPA보다 약 5Mbps 정도 높은 수율을 보였고 이는 높은 셀 용량을 요구하는 현대 사회에서 경쟁력이 있다고 본다.

HAPS 시스템은 비행선을 이용해 기존의 지상망 기지국보다 넓은 셀 반경을 가질 수 있으며, 이는 비용의 절감으로 이어지게 될 것이다. 특히 위성 시스템의 장점을 살리면서 위성보다 수명이 길고 더욱이 수리하기 편리하다는 점을 살펴볼 때, 상당히 유용한 시스템이다. 하지만 다른 시스템에서도 문제가 되고 있는 높은 사용자수에 따른 간섭의 증가에 의한 성능의 감소는 HAPS 시스템에 여전히 존재한다. 이는 앞으로 개선을 해야 할 문제이다.

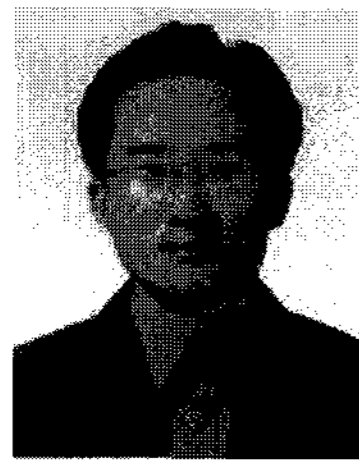
참 고 문 헌

- [1] 손성환 외 5명, "성층권 시스템을 이용한 IMT-2000망 구성 방안 연구", 인하대학교, 2005.
- [2] 박 경윤, "성층권 고공비행선과 전파응용 시스템 개발동향", 한국과학기술정보연구원, 2004년 1월.
- [3] Floriano De Rango, Mauro Tropea, and Salvatore Marano, "Integrated Service on High Altitude Platform: Receiver Driven Smart Selection of HAP-Geo Satellite Wireless Access Segment and Performance Evaluation", Jan 10. 2006.
- [4] C. E. Palazzi, C. Roseti, M. Gerla, "Enhancing Transport Layer Capability in HAPS-Satellite Integrated Architecture", Oct 29, 2004.
- [5] P. Likitthanasate, D. Grace and P. D. Mitchell, "Coexistence performance of high altitude platform and terrestrial systems sharing a common downlink WiMAX frequency band", Electronics letters vol. 41 No. 15, Jul 21, 2005.
- [6] Jeng-Ji Huang, Wei-Ting Wang, and Huei-Wen Ferng, "Uplink Capacity Enhancement for an Integrated HAPS-Terrestrial CDMA System", IEEE Communications letters vol. 11 No. 1, Jan, 2007.
- [7] 박효순, 김준석, 이재용, "다중사용자 OFDM 무선 이동통신 환경에서의 비례공정 부반송파 할당기법", 한국통신학회논문지, 2004년 12월.
- [8] 3GPP. Technical Specification Group Radio Access Network. Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access (Release 4), (3GPP TR 25.848 v.4.0.0)
- [9] Jong-Min Park, et al., "Evaluation of Interference Effect into Cellular System from High Altitude Platform Station to Provide IMT-2000 Service", Radio & Broadcasting Research Lab., ETRI, 2003.
- [10] Harri Holma and Antti Toskala, "HSDPA/HSUPA for UMTS", Johns Wiley & Sons, LTD., 2006.

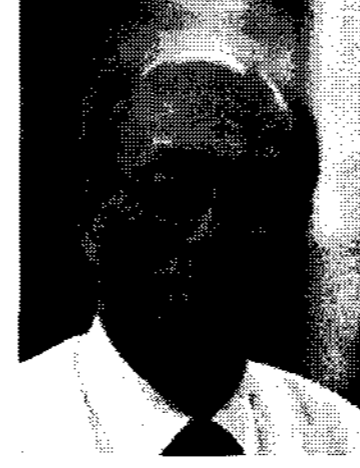
저 자 소 개



김 남 겸(학생회원)
2007년 2월 동국대학교
전자공학과 공학사
2007년 3월~현재 동국대학교
전자공학과 석사 과정
<주관심분야 : OFDM, MIMO,
Channel Estimation>



손 인 수(정회원)
1994년 5월 RPI 컴퓨터공학과
공학사
1996년 1월 NJIT 전기공학과
공학석사
1998년 8월 SMU 전기공학과
공학박사
1998년 8월~1998년 12월 ERICSSON USA
선임연구원
1999년 1월~2004년 2월 한국전자통신연구원
선임연구원
2004년 3월~2006년 2월 명지대학교 통신공학과
조교수
2006년 3월~현재 동국대학교 전자공학과 조교수
<주관심분야 : 이동통신 시스템, 통신신호처리,
4G>



이 진 구(정회원)
1969년 2월 항공대학교
전자공학과 공학사
1975년 2월 서울대학교
전자공학과 공학사
1979년 9월 Oregon주립대학교
반도체공학과 석사
1982년 4월 Oregon주립대학교 반도체공학과
박사
1985년 Cray Research, USA, Research
Scientist
1985년 Microwave Semiconductors, USA,
Senior Engineer
1990년~1991년 University of Michigan, Visiting
Research Scientist
1995년~현재 한국 전자과학회 이사
1996년~현재 한국산업인력관리공단,
기술사 검정 심의위원
1999년~현재 대한전자공학회 상임이사
1985년~현재 동국대학교 공과대학 전자공학과
교수
1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장
<주관심분야 : 반도체 소자 및 집적회로>