

HAP W-CDMA 시스템을 위한 SIR 기반의 최적 다운링크 전력 제어

정회원 강영흥*

The Optimum SIR-Based Downlink Power Control for HAP W-CDMA

Young-Heung Kang* *Regular Member*

요 약

HAP(High Altitude Platform)을 이용한 무선 통신 시스템은 기존의 지상 및 위성 시스템보다 여러 고유의 장점을 통해 3세대 IMT-2000 무선 서비스를 제공하기 위한 대체 수단으로 제안되고 있다. W-CDMA HAP 시스템은 지상 이동 통신 시스템과 마찬가지로 인접 셀의 간섭을 줄이면서 시스템 용량을 증가시키기 위한 전력 제어가 가장 중요한 기술 중의 하나이므로 이에 대한 연구가 요구되는 실정이다.

본 논문에서는 기존의 지상 이동 통신 시스템에서 이용되고 있는 SIR(signal-to-interference ratio) 기반의 DB(distributed balancing) 알고리즘에 HAP 시스템만의 고유의 기하학적 구조에 의한 간섭 프로파일을 도입하여 전력 제어를 행함으로써 기존의 HAP 시스템에 제안되고 있는 DBPA(distance-based power allocation) 알고리즘에 의한 전력 제어보다 성능을 크게 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라 안테나 최대 이득(또는 사이드로브 특성 등)에 의해 나타나는 성능 변화를 제거할 수 있다.

Key Words : HAPS, Power control, DB algorithm, DBPA algorithm

ABSTRACT

HAP(High Altitude Platform) systems have been proposed due to their unique advantages over terrestrial and satellite systems as the alternative wireless communication system to deliver the third generation IMT-2000 wireless services. It has been required to study for the power control in W-CDMA HAP system as well as the terrestrial mobile system in order to mitigate interference and increase the capacity.

In this paper, a new power control has been proposed for HAP system considering the interference profile into the DB(distributed balancing) SIR(signal to interference ratio)-based algorithm which has been considered in terrestrial system, and estimated by the outage performance of the proposed DB algorithm is better remarkably than DBPA(distance-based power allocation) which is proposed for HAP system, and it is the same regardless of the antenna maximum gain and its sidelobe characteristics.

I. 서론

전 세계를 통해 인터넷 액세스를 위한 광대역 이

동 통신에 대한 수요 증가는 지상 및 위성 무선망에서 성공적으로 급속한 발전을 가져오고 있으며, 최근의 무선망은 고속 데이터 전송 이외에 저렴한

* 군산대학교 전자정보공학부 교수 (yhkang@kunsan.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-10-408, 접수일자 : 2006년 10월 1일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 5일

비용으로 시간 및 공간 변형 커버리지를 제공하고 있다. 무선 통신 서비스를 제공하기 위한 지상 및 위성 시스템 이외에 최근 25km에 이르는 고도에서 무인 비행선 또는 비행체를 이용한 성층권 통신 시스템(HAP; High Altitude Platform)에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한, HAP을 이용한 무선 통신 시스템은 현재의 지상 및 위성 시스템보다 개발의 용이성, 저 비용 운용, 작은 전파 지연, 고 양각(elevation angles), 광역 커버리지, 광대역성 등 많은 장점을 통해 3세대 IMT-2000 무선 서비스를 제공하기 위한 대체 수단으로 제안되고 있다^[1-3].

W-CDMA HAP 시스템은 지상 이동 통신 시스템과 마찬가지로 인접 셀의 간섭을 줄이면서 시스템 용량을 증가시키기 위한 전력 제어(power control)가 가장 중요한 기술 중의 하나이다. 이에 대한 연구로서 다운링크 전력 제어를 위해 서비스 셀의 중심으로부터 이동국까지 거리의 n 승에 기반한 전력 제어 기법을 고려하여 W-CDMA 성층권 통신 시스템의 다운링크 용량이 분석되었으며^[4], 이의 결점을 보완하여 개선된 거리에 근거한 전력 제어 기법이 제안되어왔다^[3]. 이는 모두 지상 셀룰러 이동 통신 시스템에서 적용되고 있는 서비스 셀을 중심으로부터 이동 단말까지의 거리에 근거한 연구로서, HAP 시스템은 지상 셀룰러 이동 통신 시스템과는 달리 비행선의 안테나 패턴에 의한 채널 이득이 인접 셀 간섭의 주 원인이 되므로 안테나 패턴을 고려한 전력 제어 알고리즘 개발이 필요한 실정이다. 또한 기존의 지상 셀룰러 이동 통신 시스템에 적용되고 있는 이동국 단말의 셀 중심으로부터의 거리에 근거한 distance-based power allocation (DBPA) ^[5] 성능은 SIR(signal - to - interference ratio)에 근거한 distributed balancing (DB) 알고리즘^[6] 성능에 비해 매우 열악한 결과를 가져온다.

이에 본 논문에서는 HAP 시스템에 적합한 전력 제어 기법의 한 연구로서 기존의 거리에 근거한 미터법 전력 제어 기법보다는 이동국의 서비스 outage 확률을 효율적으로 줄이기 위한 알고리즘으로 HAP 안테나 패턴에 의해 이루어지는 간섭 프로파일(profile)을 분석하여 SIR 기반에 의한 전력 제어를 제안한 후 이에 대한 성능 분석을 행한다.

II. HAP 다운링크 간섭 모델

그림 1에 HAP 다운링크 간섭 메커니즘을 보인

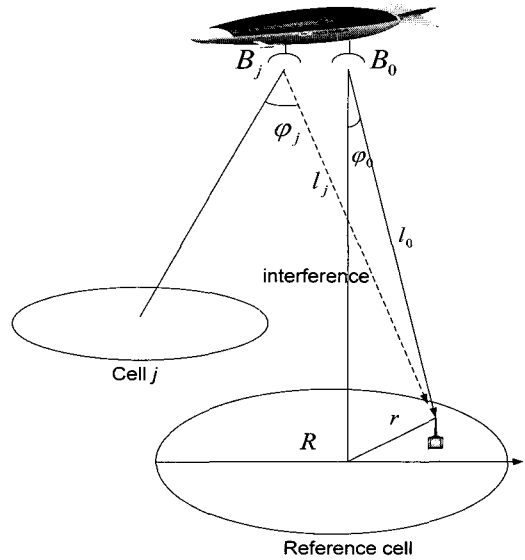


그림 1. HAP 다운링크 간섭 메커니즘.
Fig. 1. HAP downlink interference mechanism.

다. HAP 기반 시스템의 간섭은 동일 채널 상의 셀을 서비스하는 안테나에 의해 야기되는데, 메인 로브(main lobe) 또는 사이드 로브(sidelobe)들의 중첩에 의해 발생한다. 지상 이동 통신 시스템에서는 간섭이 일반적으로 제한적이지만 지형 및 건물 패턴에 의존하므로 이동국의 위치에 따른 간섭 레벨을 예측하는 것이 어렵다. 이와는 달리 HAP 시스템에서의 전파는 주로 자유공간을 통해 이루어지므로 간섭 레벨을 쉽게 예측할 수 있다^[2].

만일 N_j 를 셀 j ($j = 0, \dots, J$) 내의 통신을 행하는 이동국의 수, B_j 를 기지국 j 라고 하면, 기준 셀(reference cell) 내의 이동국 k 에서의 신호 대 간섭 비(SIR; signal - to - interference ratio)는 다음과 같다.

$$SIR_{0k} = \frac{P_{0k}(r)G(\varphi_0)N_0^{-a}}{\sum_j \sum_{m=1}^{N_j} P_{jm}(r)G(\varphi_j)N_j^{-a} - P_{0k}(r)G(\varphi_0)N_0^{-a}} \quad (1)$$

여기서, $P_{0k}(r)$ 는 기준 셀 기지국 B_0 로부터 셀 중심에서 거리 r 에 위치한 이동국 k 로 송신되는 다운링크 전력, l_0 및 l_j 는 각각 기지국 B_0 및 B_j 로부터 이동국 k 에 이르는 거리, a 는 자유 공간 손실 지수로서 2이다. $G(\varphi_0)$ 및 $G(\varphi_j)$ 는 각각 기지국 B_0 및 B_j 안테나 보어사이트(boresight)로부터

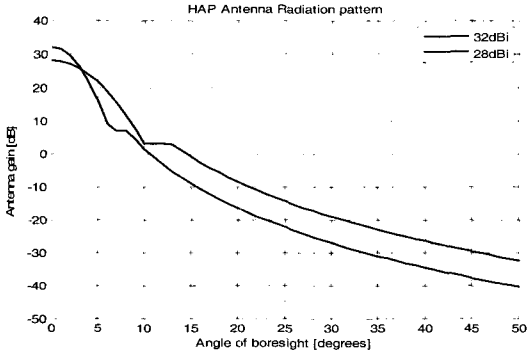


그림 2. ITU-R 권고 HAP 안테나 패턴.
Fig. 2. ITU-R recommendation antenna pattern.

이동국 k 를 바라보는 각에서 계산된 이득으로 ITU-R 권고안 M.1456^[7]에 주어진 그림 2의 안테나 패턴에 의해 계산된다.

III. HAP 다운링크 전력 제어

3.1 Distance-based power allocation (DBPA) 알고리즘

지상 이동 통신 시스템에서 DBPA[5] 알고리즘은 기지국과 각 이동국 간의 거리를 이용하여 각 이동국에 송신 전력을 할당하는 방식으로 개방 루프(open loop) 전력 제어 메커니즘이다. 이 메커니즘을 HAP 시스템에 적용하기 위한 새로운 전력 프로파일이 제안되었다^[3,8]. 즉, 다운링크 전력 제어를 위해 서비스 셀 중심으로부터 거리 r 에 위치한 이동국 k 에 전송되는 전력은 다음과 같다.

$$P_{0k}(r) = P_R f(r) \tag{2}$$

여기서, P_R 은 $r = R$ 에 위치하는 이동국에 할당된 기준 전력이다. 문헌 [3]과 [8]에서 제안된 새로운 전력 프로파일은 다음과 같이 주어진다.

여기서, $n_1 > 1$, a 및 b 는 $a + b = 1$ 을 만족하는 전력 제어 파라미터, r_0 는 전력 제어의 법칙(law)을 변경하는 거리이다.

$$f_{new}(r) = \begin{cases} \left[a + b \left(\frac{r}{r_0} \right)^{n_1} \right] \left[\frac{r_0}{R} \right]^n & \text{for } r \leq r_0 \\ \left[\frac{r}{R} \right]^n & \text{for } r > r_0 \end{cases} \tag{3}$$

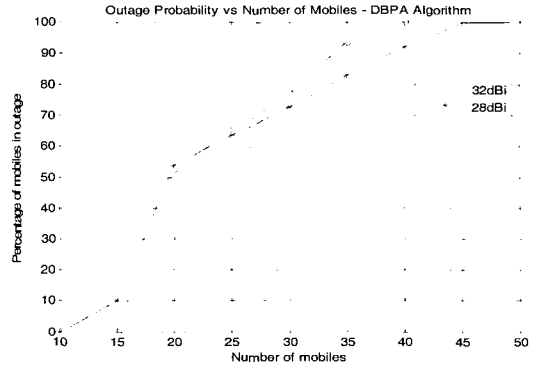


그림 3. DBPA 알고리즘에 의한 이동국 outage 확률.
Fig. 3. Percentage of mobiles in outage using DBPA algorithm.

HAP 시스템에서 식 (3)의 새로운 전력 프로파일을 이용하여, 기준 셀 주위에 간섭 셀이 6개가 있다고 가정하고, 비행선의 고도 $h = 20\text{km}$, 서비스 셀 반경 $R = 2\text{km}$, 문헌 [3]에서 주어진 최적 전력 파라미터가 $n = 2.8$, $r_0/R = 0.75$, $n_1 = 6$, $a = 0.72$ 일 때 안테나 최대 이득 $G_{max} = 32\text{dBi}$ 및 28dBi 에 따른 이동국 outage 확률을 그림 3에 보인다. 여기서 SIR 기준 값은 -14dB 로 가정하였다.

그림 3으로부터 알 수 있듯이 이동국의 수에 따라 outage 확률은 증가하여 안테나 최대 이득이 32dBi인 경우 이동국 수가 40이면 100%의 outage가 발생하고, 28dBi인 경우 이동국 수가 45에서 100%의 outage가 발생하는 등 매우 열악한 성능을 보이고 있다. 이동국 수가 적은 경우는 그림 2에서 보듯이 안테나 사이드 로브가 커서 인접 채널에 의한 간섭의 영향이 크게 나타나는 최대 이득이 낮은 경우가 오히려 outage 확률이 높은 반면 이동국 수가 많아지면 메인 로브에 의한 동일 채널 간섭에 의해 좌우되므로 최대 안테나 이득이 큰 경우가 outage 확률이 증가하게 된다.

3.2. SIR 기반 distributed balancing (DB) 알고리즘

여기서는 기존의 지상 이동 통신 시스템에 알려져 있는 SIR 기반의 DB 알고리즘을 이용하여 HAP 시스템 고유의 기하학적 구조에 의한 간섭 프로파일을 도입함으로써 HAP 시스템에 최적 전력 제어를 가져 올 수 있는 DB 알고리즘을 제안한다.

만일 DB 알고리즘에 의해 각 이동국에서의 SIR이 동일하다면, 식 (1)로 주어지는 기준 셀에서의

표 1. 간섭 프로파일 근사화 계수값.
Table 1. Coefficient values for the interference profile.

최대 이득	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
32dBi	0.98936	0.40712	-2.4867	6.8584	-8.453	4.048
28dBi	1.0626	-0.01513	0.04697	0.06854	-0.31604	0.26609

SIR_{0k} 는 이동국 k 에 독립이므로 $SIR_{0k} = SIR_0$

이다. 식 (1)에서 $\sum_m P_{jm}(r) = P_T$ 로 놓고, HAP 구조의 특이성에 의해 모든 기지국의 송신 안테나 빔들이 비행선 상의 동일 지점으로부터 방사되므로 $l_0 \approx l_j$ 라 할 수 있으며, 이를 이용하여 $P_{0k}(r)$ 에 대해 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$P_{0k}(r) \approx \frac{SIR_0}{1 + SIR_0} P_T \gamma(r) \quad (4)$$

여기서, $\gamma(r)$ 은 간섭 프로파일로서 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma(r) = \frac{\sum_j G(\phi_j)}{G(\phi_0)} \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 안테나 최대 이득이 32dBi 및 28dBi인 경우 셀 반경에 대한 이동국 거리비 r/R 에 따른 간섭 프로파일을 구한 결과를 그림 4에 보이며, 이를 식 (6)의 5차 다항식으로 근사화했을 때의 각 계수를 표 1에 보인다.

$$\gamma(r) \approx \sum_{m=0}^5 a_m \left(\frac{r}{R}\right)^m \quad (6)$$

그림 4로부터 알 수 있듯이 이득이 32dBi인 경우 이동국이 셀 중심에서 셀 경계 지역으로 갈수록 간섭 프로파일 값이 급격하게 증가하는 반면 28dBi인 경우는 거리에 따른 간섭 프로파일이 큰 변화가 없다.

한편 DBPA 알고리즘을 이용한 전력 제어 성능과 비교하기 위해 P_T 는 식 (3)을 이용하여 다음과 같이 구한다²⁾.

$$P_T = \frac{NP_R}{\pi R^2} \int_0^{R/2} \int_0^{2\pi} d\theta f_{new}(r) r dr$$

$$= 2NP_R \frac{a}{2} \left[\frac{r_0}{R}\right]^{n+2} + \frac{b}{n_1 + 2} \left[\frac{r_0}{R}\right]^{n+2} + \frac{1}{n+2} - \frac{1}{n+2} \left[\frac{r_0}{R}\right]^{n+2} \quad (7)$$

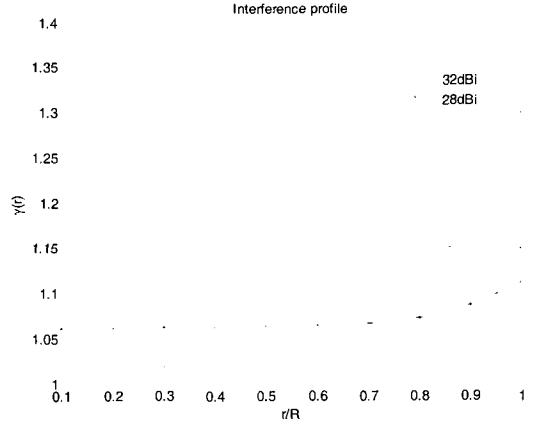


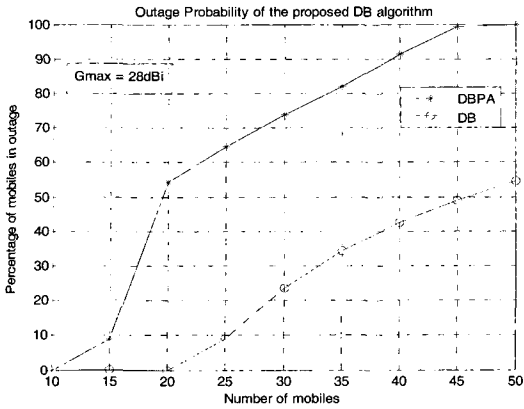
그림 4. 거리에 따른 간섭 프로파일.
Fig. 4. Interference profile with the distance.

여기서, N 은 셀 당 이동국 수이다.

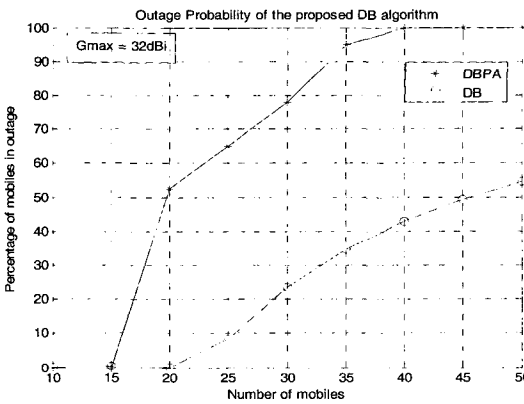
식 (6)의 간섭 프로파일과 식 (7)의 셀 당 전체 전력을 이용하여 식 (4)로부터 이동국 거리에 따른 전력 제어를 행해 얻어진 이동국 outage 확률을 그림 5에 DBPA 알고리즘에 의한 전력 제어 성능과 비교하였다.

그림 5로부터 알 수 있듯이 제안된 DB 알고리즘은 각 이동국의 SIR 및 간섭 프로파일을 고려하여 전력을 배분함으로써 DBPA 알고리즘에 비해 우수한 전력 제어 성능을 보이고 있다. 왜냐하면, DBPA 알고리즘은 각 이동국에 셀 중심으로부터 각각의 이동국 거리에 의한 전력을 할당하는 단순 미터법 전력 제어에 해당하기 때문이다. 예를 들어 안테나 최대 이득이 32dBi인 경우 이동국 수가 40에 이르면 DBPA outage 확률은 100%에 달하지만, 제안된 DB 알고리즘에서는 40%로 줄일 수가 있다. 마찬가지로 안테나 최대 이득이 28dBi 인 경우 이동국 수가 45에 이르면 DBPA 알고리즘은 100%에 달하지만 DB 알고리즘은 50%로 낮출 수가 있다. 즉, DB 알고리즘에 의한 다운링크 상의 통신용량(capacity)을 DBPA보다 2배로 가져갈 수 있다.

또한, 제안된 DB 알고리즘은 각 이동국의 SIR 및 간섭 프로파일을 고려하여 전력을 배분함으로써 성능이 우수할 뿐만 아니라 안테나 최대 이득에 의한 성능 변화를 제거할 수 있다. 즉, 그림 5에서 DB에 의한 전력 제어를 행한다면 outage 성능은 안테나 최대 이득이 32dBi와 28dBi에 대해서 동일한 성능을 보이고 있다.



(a) $G_{max} = 32dBi$



(b) $G_{max} = 28dBi$

그림 5. 제안된 DB 알고리즘에 의한 이동국 outage 확률.
Fig. 5. Percentage of mobiles in outage using the proposed DB algorithm.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 지상 이동 통신 시스템에서 이용되고 있는 SIR 기반의 DB 알고리즘에 HAP 시스템만의 고유의 기하학적 구조에 의한 간섭 프로파일을 도입하여 전력 제어를 행함으로써 기존의 거리에 의한 DBPA 알고리즘에 의한 전력 제어 성능 개선 효과를 시뮬레이션에 의해 분석하였다. 기존에 HAP 시스템에 제안된 DBPA 알고리즘은 각 이동국에 셀 중심으로부터 각각의 이동국 거리에 기반한 미터법 전력 제어인 반면, 여기서 제안하는 DB 알고리즘은 기존의 DBPA 알고리즘에 다 각 이동국의 SIR 및 전력 프로파일을 고려하여 전력 제어를 행함으로써 성능의 개선을 크게 가져올 뿐만 아니라 안테나 최대 이득(또는 사이드로브

특성 등)에 의해 나타나는 성능 변화를 제거할 수가 있다.

향후 연구에서는 원형 빔(circular beam) 안테나에 의한 1차원적 간섭 프로파일 보다는 실제 적용이 예상되는 타원형 빔(elliptical beam) 안테나에 의한 2차원적 간섭 프로파일을 고려하여 실제 전력 제어가 가까운 알고리즘 개발과 이의 다각적인 자유 셀 환경 및 각 기지국의 전력 제한을 고려한 환경에서의 성능 평가 등이 이루어져야 하겠다.

참고 문헌

- [1] 강영홍, "HAPS를 이용한 차세대 이동 통신용 계층적 셀 구조 연구", 한국통신학회논문지, Vol. 30, No.9B, pp.602-609, 2006.
- [2] S. Karapantazis and F. N. Pavlidou, "Broadband communications via high-altitude platforms: A survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 7, no. 1, pp. 2-31, First Quarter 2005.
- [3] B. Taha-Ahmed, M. Calvo-Ramon, and L. Haro-Ariet, "On the high altitude platform(HAP) W-CDMA system capacity", *Radioengineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 36-40, June 2004.
- [4] Y. C. Foo, W. L. Lim, R. Tafazolli, and L. W. Barclay, "Forward link power control for high altitude platform strains W-CDMA system", *Proc. 54th Vehicular Technology Conference 2001*, pp. 625-629, Fall 2001.
- [5] L. Nuaymi, P. Godlewski, and X. Lagrange, "Power allocation and control for the downlink in cellular CDMA networks", *Proc. 12th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'01)*, vol. 1, pp. C29-C31, San Diego, CA, 2001.
- [6] C. J. Chang and F. C. Ren, "Downlink power control in DS/CDMA cellular mobile radio network", *Proc. 3rd International Conf. on Universal Personal Communications (ICUPC'94)*, pp. 89-93, San Diego, CA, 1994.
- [7] Recommendation ITU-R M.1456, Minimum performance characteristics and operational conditions for high altitude platform stations

providing IMT-2000 in the band 1885-1980MHz, 2010-2025MHz and 2110-2170MHz in regions 1 and 3 and 1885-1980MHz and 2110-2160MHz in region 2.

- [8] B. Taha-Ahmed, M. Calvo-Ramon, L. Haro-Ariet, "On the downlink capacity of high altitude platform W-CDMA system", *Proc. of IST 2003*, pp. 765-768, Aviero(Portugal), 2003.

강영흥 (Young-Heung Kang)

정회원



1984년 한국항공대학교 통신 공
학사

1986년 한국항공대학교 전자 공
학 석사

1993년 한국항공대학교 전자 공
학 박사

1988년 3월~1990년 2월 한국항

공대학교 통신정보공학과 조교

1995년 8월~1996년 8월 일본 오사카대학 객원교수

2003년 8월~2005년 2월 영국 York대학 방문교수

2000년 1월~현재 한국 ITU-R 위원

1990년 4월~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수

<관심분야> 이동통신, 위성통신, 표준화