

단말기의 밀집도를 고려한 인접셀 간섭변화의 연구

오형준^o, 김종진, 정현진, 송하윤, 원유헌
홍익대학교 컴퓨터공학과
(hjoh^o, jkim, hjjung, song, won)^o@cs.hongik.ac.kr

A Study on Co-channel Interference considering Terminal Density of LEO Satellite Communication Service

Hyeong Jun Oh^o, Jong Jin Kim, Hyeon Jin Jung, Ha Yoon Song, Yu Hun Won
College of Information and Computer Engineering, Hongik University

요 약

저궤도 위성망을 사용하는 이동통신에 대한 기존 연구는 셀 내에서의 채널 용량을 단말기의 수에 의해 결정하였지만, 통신 링크에서의 동일 셀 내의 간섭과 인접한 셀의 간섭(interference)은 단말기의 분포 및 밀집도에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서는 저궤도 위성망을 사용하는 이동통신 시스템의 인접 셀 영향을 고려한 단말기들의 밀집도에 따른 C/I의 변화량을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

1. 서 론

앞으로 다가오는 IMT-2000 환경에 대비해 많은 QoS들이 개발되어 지고 있고, 지상의 이동통신망으로 부족한 부분은 위성을 이용한 이동통신으로 대체되고 있다.

실시간 전송과 단말기 역방향(uplink) 신호의 파워가 작은 단말기를 이용한 이동통신 시스템에서 통화 품질과 전 세계적인 로밍(roaming)을 이루기 위해서는 지연(delay)과 신호 감쇄가 큰 정지궤도 위성(GEO)을 이용할 수 없는 실정이며, 이에 따라 실제 이동통신용 위성의 경우 지연과 신호 감쇄가 적은 저궤도 위성군(LEO)을 이용하게 된다. 저궤도 위성군의 경우 지상의 이동 통신과 같이 셀 설계를 이용하며, 특히 DS/CDMA 방식을 사용하는 위성 통신 시스템의 동일 셀 내에는 동일채널간섭(co-channel interference)의 문제가 발생할 뿐 아니라 인접 셀의 동일 채널 간섭이 발생한다. 이것은 위성 이동 통신시스템에서 가장 중요한 문제이다.

이러한 동일채널간섭에 관련하여 기존의 연구는 셀 내에서의 채널 용량을 단말기의 밀집도나 분포와는 상관없이 단말기의 수를 고려하여 결정하였다 [1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련연구를 3절에서는 본 연구에 처리성능함수로 사용된 Globalstar의 채널 용량 분석과 단말기 분포에 따른 간섭의 변화 그리고 단말기 밀집도를 고려한 채널 용량 수식을 기술하고, 4절에서는 실험 결과 및 분석을 하고, 5절에서 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

2. 관련 연구

CDMA 시스템에서 간섭(interference)은 채널 용량을 결정하는 중요한 요소중의 하나이다. 이러한 다중 사용자 간섭의 영향을 줄이거나 제거하기 위한 기존의 연구로는 [2] 첫째, 다중 사용자에게 의한 간섭은 발생하지 않으

나, 전파 지연에 대한 완벽한 직교성을 유지하는 코드 및 시스템을 설계하는 일은 불가능한 코드 파형 설계와, 둘째, 멀리 위치한 사용자의 신호를 좀 더 높은 전력으로 송신하는 방법을 사용하여, 위성에서 받아들이는 모든 신호들이 같은 크기의 전력으로 도달하게끔 하는 방법인 전력 제어(power control)와

셋째, 낮은 신호 대 간섭(Signal-to-Interference)에서 적절한 수준의 에러율을 얻을 수 있는 FEC(Forward error correction)와

넷째, 지향성 안테나를 사용하여 수신 범위를 원하는 각도에 고정하여 사용하는 분할/적용 안테나 등이 있다.

본 논문에서는 위성 이동 통신 시스템에서 중요한 문제 중에 하나인 동일채널간섭을 줄일 수 있는 방안을 모색하기 위해서, 단말기 분포 및 밀집도(terminal density)에 따른 인접 셀의 동일채널간섭의 변화와 채널 용량 변화를 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

3. 처리성능 함수

CDMA 시스템에서 채널 용량은 동일한 주파수 대역을 사용하는 모든 사용자로부터 발생하는 신호 대 간섭 비로 결정되며, Pole Capacity 산출 방식에 의해 CDMA의 역방향 링크의 시스템 용량은 식(1)과 같다 [3].

$$N-1 = \frac{B_T / R_b}{E_b / N_o} \cdot \frac{1}{d} \cdot f \dots\dots\dots(1)$$

N : 통화 가능한 전체 사용자 수

B_T : 확산 스펙트럼 대역폭

R_b : 데이터 전송 속도(bps)

E_b / N_o : 비트 당 에너지 대 잡음 전력 비

d : 음성 활성화 계수(voice activity)

f : 주파수 재사용 효율

3.1 Globalstar의 채널 용량 분석

Globalstar는 DS/CDMA 방식을 사용하는 대표적인 저궤 위성 시스템(LEO Satellite system)이며, T개의 CDMA 캐리어를 사용했을 경우 총 대역폭은 다음의 식(2)와 같다.

$$B_C = T(G R_b + B_g) \dots\dots\dots(2)$$

- B_C : 총 채널 대역폭(16.5MHz)
- T : CDMA 캐리어의 총 개수(13개 미만)
- G : 처리 이득(processing gain) (127)
- R_b : 데이터 전송 속도 (144 Kbps)
- B_g : 가드 밴드(guard band)

셀 내의 최대 사용자 수 N_c 를 구하면 다음의 식(3)와 같다.

$$N_c = TN = T + \frac{B_C - T B_g}{R_b} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{E_b/N_o} \dots\dots\dots(3)$$

- B_C : 16.5MHz(순방향 링크) , 11.35MHz(역방향 링크)
- T : 최대 13개(순방향 링크) , 최대 9개(역방향 링크)
- R_b : 144Kbps(순방향 링크) , 32Kbps(역방향 링크)
- $E_b/N_o = 5\text{dB}$
- $a = 0.5$

3.2 단말기 분포에 따른 간섭의 변화

셀 중심에 단말기 N_1 이 있고, 거리 d만큼 떨어진 곳에 단말기 N_2 가 있다고 하자. N_1 은 셀 중심에서 위성으로 최대의 송신 전력 안테나 이득을 획득하며, N_2 는 식(4)에 의한 안테나 이득을 가진다[4].

$$G(c) = G_{\max} \dots\dots\dots(4)$$

$$G(d) = G_{\max} - s \cdot \left(\frac{\arctan d/h}{\arctan R/h} \right)^2 \dots\dots\dots(5)$$

- d : 셀 중심으로부터 떨어진 거리
- h : 위성의 고도
- R : 셀 반지름
- s : 스폿 빔 고립(isolation) (dB)
- $G(c)$: 셀 중심의 최대 안테나 이득
- $G(d)$: 중심에서 거리 d 만큼 떨어진 곳의 안테나 이득

가우시안 스폿 빔(Gaussian spot beam)안테나에서 두 사용자간 간섭 지수 f를 구하면,

$$f = \frac{G(c)}{G(d)} \dots\dots\dots(6)$$

인테, 식(6)에서 두 사용자간 간섭 지수를 N 명의 사용자가 있을 경우로 확대해 보면, 셀 전체에서 모든 사용자들의 단말기 분포의 평균 거리를 ρ 라고 할 때 $0 < \rho < R$ 이 성립된다. ρ 를 식(6)에 적용하면, 다음의 식(7)과 같다 [5].

$$\sum_{n=1}^{N-1} f = \frac{N \cdot (N-1)}{2} \frac{G(c)}{G(\rho)} \dots\dots\dots(7)$$

3.3 인접 셀의 간섭을 고려한 채널 용량 수식

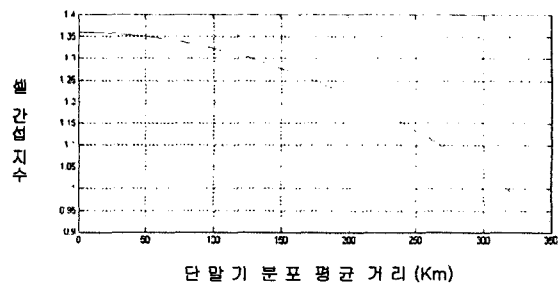
기존의 Globalstar의 채널 용량 식(3)에 인접 셀의 간섭을 고려하여 적용하면 식(8)이 도출된다.

$$N_c = TN = T + \frac{B_C - T B_g}{R_b} \cdot \frac{1}{a(1+f)} \cdot \frac{1}{E_b/N_o} \dots\dots\dots(8)$$

- B_C : 11.35MHz(역방향 링크)
- T : 9개(역방향 링크)
- R_b : 32Kbps(역방향 링크)
- $E_b/N_o = 5\text{dB}$
- $a = 0.5$
- $f = \frac{G(c)}{G(\rho)}$
- $G(c) = G_{\max}$
- $G(\rho) = G_{\max} - s \cdot \left(\frac{\arctan \rho/h}{\arctan R/h} \right)^2$
- $s = 3\text{dB}$
- $h = 1,414\text{Km}$
- $R = 376\text{Km}$ (스폿 빔 one side angle = 14.9°)

4. 실험 결과 및 분석

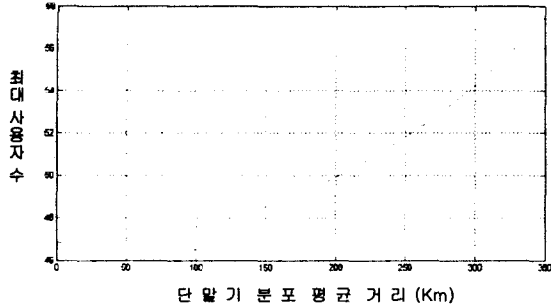
그림[1]은 주어진 파라미터를 이용하여 식(7)에 의해 단말기 분포의 평균 거리 변화에 따라 채널의 인접 셀의 간섭을 포함한 간섭지수 f의 변화량을 나타낸 것이다. 단말기 분포의 평균 거리 ρ 가 짧은 경우, 즉 단말기들의 밀집도가 높은 경우 동일 채널내에서 인접 셀의 간섭을 포함한 간섭지수가 높아지며, ρ 가 길어지는 경우 단말기들의 밀집도가 낮아지므로 채널내에서 인접 셀의 간섭을 포함한 간섭지수가 낮아진다.



[그림 1] 단말기 분포의 평균 거리에 따른 인접 셀을 고려한 간섭지수 f

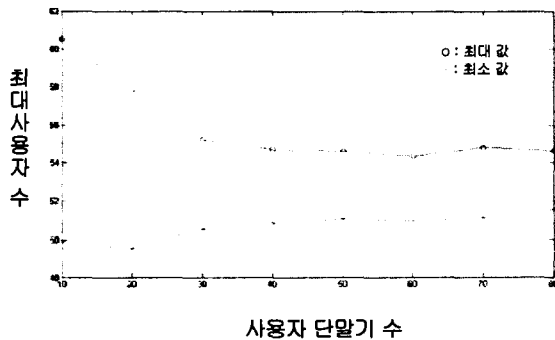
그림 [2]는 단말기 분포의 평균 거리의 변화에 따라 식(8)에 의해 구해지는 동일 채널의 최대 사용자 수의 변

화량을 인접 셀의 간섭을 포함하였을 때를 나타낸 것이다. ρ 가 길어지는 경우 단말기들의 밀집도가 낮아져 채널 내에서 인접 셀을 고려한 간섭지수가 줄어들게 되고, 이에 따라 채널 용량이 증가하게 된다. $\rho=R$ 인 경우 $\rho=0$ 인 경우보다 약 20%의 사용자 수의 증가를 나타낸다.



[그림 2] 단말기 분포의 평균 거리에 따른 최대 사용자 수

그림 [3]은 실제 인접 셀의 간섭을 포함한 동일 셀 내에서 사용중인 단말기의 수를 10개부터 80개까지 설정하고, 이에 따른 평균 분포 거리에 대한 최대 사용자 수를 나타낸다. 시뮬레이션은 단말기의 수(10, 20, 30...)에 따라 각 50회의 실험을 실시함으로써 최대 사용자 수에 대한 최소, 최대 값의 분포를 나타낸다. 이 시뮬레이션 결과에 따르면 동일 셀 내에서 사용중인 단말기의 수가 30개가 넘게 되면 수용 가능한 최대 사용자 수는 56명 이하로 제한되는 것을 볼 수 있다. 또한 사용중인 단말기의 수가 80개여도 수용가능한 최대 사용자 수는 54명을 보장해 준다.



[그림 3] 인접 셀의 간섭을 포함한 사용 단말기 수에 따른 수용 가능한 최대 사용자 수

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 저궤도 위성을 이용한 DS/CDMA 이동 통신 시스템의 역방향 링크를 대상으로, 인접 셀의 간섭을 포함한 간섭지수(f)를 단말기 밀집도(d)를 고려하여 시뮬레이션을 한 결과 밀집도(d)가 낮아질수록 간섭지수(f) 또한 낮아지는 결과를 보였고, 간섭지수가 낮아짐으로

써 셀 내의 통화용량(최대 사용자수)이 최대 20%가 늘어나는 것을 볼 수 있었다.

동일 셀내의 간섭지수 f 와 인접 셀의 간섭을 포함한 간섭지수 f 를 비교분석하면 채널 용량에 대해 좀 더 효율적인 접근이 이루어 질 것이다.

참고 문헌

- [1]A. Jamalipour, M. Katayama, T. Yamazato, A. Ogawa, "Signal-to-interference Ratio of CDMA in Low Earth-Orbital Satellite Communication Systems with Nonuniform Traffic Distribution", IEEE Trans. pp. 1748-1752, 1994.
- [2]H. M. Mourad, A. M. Al-Bassiouni, S. S. Emam, E. K. Al-Hussaini, "Generalized Performance Evaluation of Low Earth Orbit Satellite Systems", IEEE Comm. vol. 5. no. 10. pp. 405-407, 2001.
- [3]E. Lutz, M. Werner, A. Jahn, "Satellite Systems for Personal and Broadband Communications", Springer-Verlag, pp. 171-199, 2000.
- [4]P. Loreti, M. Luglio, L. Palombini, "Impact of Multibeam Antenna Design on Interference for LEO Constellations", IEE E, 2000.
- [5]J. Mao, M. O'Droma, L. Ge, G. Ji, "Investigation of DBF based Co-Channel Signal Separation and Suppression for Mobile Satellite Communications", IEEE VTC'99 pp. 2731-2734, 1999.