

# 위성통신시스템에서 단말기의 밀집도를

## 고려한 간섭변화의 연구

양우열, 김종진<sup>o</sup>, 송하윤, 원유현

홍익대학교 컴퓨터공학과

{wyyang, jkim<sup>o</sup>, song, won}@cs.hongik.ac.kr

### Co-channel Interference considering Terminal Density of LEO Satellite Communication Service

Woo Youl Yang, Jong Jin Kim<sup>o</sup>, Ha Yoon Song, Yu Hun Won  
College of Information and Computer Engineering, Hongik University

#### 요 약

저궤도 위성망을 사용하는 이동통신은 지상 이동통신망에서와 비슷하게 셀(cell) 설계가 이루어지는데, 지금까지의 연구는 셀 내에서의 채널 용량을 단말기의 수에 의해 결정하였다. 하지만, 동일 셀 내 통신 링크에서의 간섭(interference)은 단말기의 분포 및 밀집도에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서는 저궤도 위성망을 사용하는 이동통신 시스템의 동일 셀내에서 단말기들의 밀집도에 따른 C/I의 변화량을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

#### 1. 서 론

최근들어 위성을 이용한 위성통신서비스가 급증하고 있다. 위성통신서비스는 산악, 도서지역, 해상등 일반 지상통신으로는 서비스하기 어려운 지역에 대해서도 서비스가 가능한 장점을 가진다.

이동 통신용 위성 통신 시스템은 여러 가지 측면(짧은 전파 지연 시간, 상대적으로 작은 크기의 안테나 설비, 낮은 송신 전력 요구, 강우 감쇠에 의한 전파손실이 적음 등)에서 보았을 때에 저궤도 위성군을 이용하는 것이 가장 좋은 장점을 갖게 되며, 지상의 이동 통신과 같이 셀 설계를 이용한다. DS/CDMA 방식을 사용하는 위성 통신 시스템의 동일 셀 내에는 동일채널간섭(co-channel interference)의 문제가 발생하게 되는데 이것은 위성 이동 통신시스템에서 가장 중요한 문제이다.

동일 셀 내 동일채널간섭에 관련해서 기존의 연구는 셀 내에서의 채널 용량을 단말기의 밀집도나 분포와는 상관없이 단말기의 수를 고려하여 결정하였다 [1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련연구를 3절에서는 DS/CDMA시스템의 처리성능 함수로서 Globalstar에서 채널 용량 분석과 단말기 분포에 따른 간섭의 변화 그리고 단말기 밀집도를 고려한 확장된 채널 용량 수식을 기술하고, 4절에서는 실험 결과 및 분석을 하고, 5절에서 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

#### 2. 관련 연구

CDMA 시스템에서는 간섭(interference)을 줄이거나 제한하는 것이 많은 사용자를 수용할 수 있는 중요한 요소가 된다. 이러한 다중 사용자 간섭의 영향을 줄이거나

제거하기 위한 기존의 연구를 살펴보면 [2] 첫째, 코드 파형 설계는 성능이 뛰어난 PN(Pseudo Noise)코드를 만들어 다중 사용자간의 완벽한 직교성을 유지하는 방법으로 다중 사용자에게 의한 간섭은 발생하지 않으나, 전파 지연에 대한 완벽한 직교성을 유지하는 코드 및 시스템을 설계하는 일은 불가능하다.

둘째, 전력 제어(power control)은 멀리 위치한 사용자의 신호를 좀 더 높은 전력으로 송신하는 방법을 사용하여, 위성에서 받아들이는 모든 신호들이 같은 크기의 전력으로 도달하게끔 하는 방법이다.

셋째, FEC(Forward error correction)는 강력한 에러 정정 코드를 설계하여 낮은 신호 대 간섭(Signal-to-Interference)에서 적절한 수준의 에러율을 얻을 수 있으며, 넷째, 분할/적용 안테나는 지향성 안테나를 사용하여 수신 범위를 원하는 각도에 고정하여 사용하여 목적하는 신호에는 다중 사용자 간섭의 일부만 포함되는 효과를 얻는다.

다섯째, 다중 사용자 검출은 다중 사용자 자체에 의한 간섭효과를 줄이거나 제거 함으로써, 상당한 채널 용량의 증가와 원근효과에 의한 영향을 줄인다.

본 논문에서는 위성 이동 통신 시스템에서 중요한 문제인 동일 셀 내의 동일채널간섭을 줄일 수 있는 방안을 모색하기 위해서, 단말기 분포 및 밀집도(terminal density)에 따른 동일채널간섭의 변화와 채널 용량 변화를 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

#### 3. DS/CDMA 시스템의 처리성능 함수

CDMA 시스템에서 채널 용량은 동일한 주파수 대역을 사용하는 모든 사용자로부터 발생하는 신호 대 간섭 비로 결정되며, Pole Capacity 산출 방식에 의해 CDMA

의 역방향 링크의 시스템 용량은 식(1)과 같다 [3].

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

- $N$  : 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

채널 용량을 결정하는 여러 요인들에서 주파수 재사용 효율, 확산 스펙트럼 대역폭, 데이터 전송 속도, 음성 활성화 계수 등은 시스템의 구축 및 설계 단계에서 정해지고, 시스템 채널 용량은 신호 대 잡음 비에 의해서 결정된다. 수신기에서의 신호 대 잡음비는 다음과 같다.

$$E_b / N_o = \frac{\text{비트당 에너지}}{\text{잡음의 파워 스펙트럼 밀도} + \text{간섭}}$$

$$E_b = P_s / R_b \quad \dots\dots\dots(2)$$

- $P_s$  : 신호 전력
- $R_b$  : 데이터 전송 속도

$$N_o = F_N K_B T_o + W^{-1} \sum P_i (\text{다른 사용자}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

- $F_N$  : 이동국 잡음지수
- $K_B = 1.379 \times 10^{-23}$  (볼츠만 상수)
- $T_o = 290K$  (절대온도)
- $W$  : 점유 대역폭
- $\sum P_i = \sum_{n=2}^N a_n E_b / G = \alpha(N-1) E_b / G$

### 3.1 Globalstar에서 채널 용량 분석

Globalstar는 DS/CDMA 방식을 사용하는 대표적인 저궤도 위성 시스템(LEO Satellite system)이다. Globalstar는 Multi-Frequency CDMA 방식을 사용하며, T개의 CDMA 캐리어를 사용했을 경우의 총 대역폭은 다음의 식(4)와 같다.

$$B_C = T(GR_b + B_g) \quad \dots\dots\dots(4)$$

- $B_C$  : 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 내에서의 최대 사용자 수  $N_c$ 를 구하면 다음의 식(5)와 같다.

$$N_c = TN = T + \frac{B_C - T B_g}{R_b} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{E_b / N_o} \quad \dots\dots\dots(5)$$

- $B_C$  : 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)
- $E_b / N_o = 5dB$
- $\alpha = 0.5$

### 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(6)에 의한 안테나 이득을 가진다[4].

$$G(c) = G_{\max} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$G(d) = G_{\max} - s \cdot \left( \frac{\arctan d/h}{\arctan R/h} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

- $d$  : 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,

$$f = \frac{G(c)}{G(d)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

인데, 식(8)에서 두 사용자간 간섭 지수를 N 명의 사용자가 있을 경우로 확대해 보면, 셀 전체에서 모든 사용자들의 단말기 분포의 평균 거리를  $\rho$ 라고 할 때  $0 < \rho < R$ 이 성립된다.  $\rho$ 를 식(8)에 적용하면, 다음의 식(9)과 같다 [5].

$$\sum_{n=1}^{N-1} f = \frac{N \cdot (N-1)}{2} \frac{G(c)}{G(\rho)} \quad \dots\dots\dots(9)$$

### 3.3 단말기 밀집도를 고려한 확장된 채널 용량 수식

기존의 단말기 밀집도를 고려하지 않은 Globalstar의 채널 용량 식(5)에 단말기 밀집도를 고려하여 적용하면 식(10)이 도출된다.

$$N_c = TN = T + \frac{B_C - T B_g}{R_b} \cdot \frac{1}{\alpha(1+f)} \cdot \frac{1}{E_b / N_o} \quad \dots\dots\dots(10)$$

- $B_C$  : 11.35MHz(역방향 링크)
- $T$  : 9개(역방향 링크)
- $R_b$  : 32Kbps(역방향 링크)

$$E_b / N_o = 5\text{dB}$$

$$a = 0.5$$

$$f = \frac{G(c)}{G(\rho)}$$

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

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

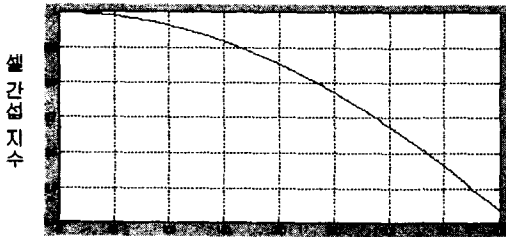
$$s = 3\text{dB}$$

$$h = 1,414\text{Km}$$

$$R = 376\text{Km} \text{ (스폿 빔 one side angle = 14.9^\circ)}$$

#### 4. 실험 결과 및 분석

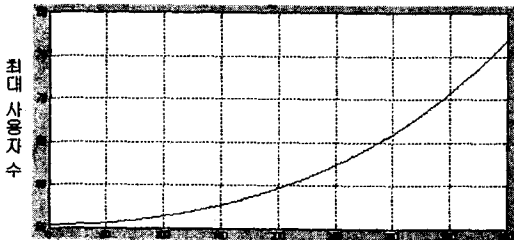
그림[1]은 주어진 파라미터를 이용하여 식(9)에 의해 단말기 분포의 평균 거리 변화에 따라 채널의 간섭지수  $f$ 의 변화량을 나타낸 것이다. 단말기 분포의 평균 거리  $\rho$ 가 짧은 경우, 즉 단말기들의 밀집도가 높은 경우 동일 채널내에서 간섭지수가 높아지며,  $\rho$ 가 길어지는 경우 단말기들의 밀집도가 낮아지므로 채널내에서 간섭지수가 낮아진다.



단말기 분포 평균 거리 (Km)

[그림 1] 단말기 분포의 평균 거리에 따른 간섭지수  $f$

그림 [2]는 단말기 분포의 평균 거리의 변화에 따라 식 (9)에 의해 구해지는 동일 채널의 최대 사용자 수의 변화량을 나타낸 것이다.  $\rho$ 가 길어지는 경우 단말기들의 밀집도가 낮아져 채널내에서 간섭지수가 줄어들게 되고, 이에 따라 채널 용량이 증가하게 된다.  $\rho=R$ 인 경우  $\rho=0$ 인 경우보다 약 33%의 사용자 수의 증가를 나타낸다.



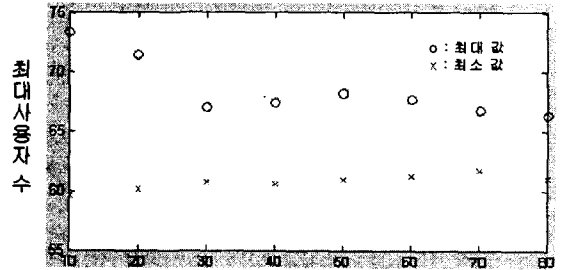
단말기 분포 평균 거리

[그림 2] 단말기 분포의 평균 거리에 따른 최대 사용자수

그림 [3]은 실제 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 70명 이하로 제한되는 것을 볼 수 있다.

또한 사용중인 단말기의 수가 80개여도 수용가능한 최대 사용자수는 65명을 보장해 준다.



사용자 단말기 수

[그림 3] 사용 단말기 수에 따른 수용 가능한 최대 사용자수

#### 5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 저궤도 위성을 이용한 DS/CDMA 이동 통신 시스템의 역방향 링크를 대상으로, 동일 셀 내에서 간섭을 결정하는 간섭지수( $f$ )를 단말기 밀집도( $d$ )를 고려하여 시뮬레이션을 한 결과 밀집도( $d$ )가 낮아질수록 간섭지수( $f$ ) 또한 낮아지는 결과를 보였고, 간섭지수가 낮아짐으로써 셀 내의 통화용량(최대 사용자수)이 최대 33%가 늘어나는 것을 볼 수 있었다.

인접 셀의 간섭을 포함한 간섭지수  $f$ 를 고려하여 연구가 이루어지면 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.