

Ka 대역을 사용하는 동기화 CDMA 위성 시스템 리턴링크의 수용용량에 관한 연구

正會員 황 승 훈*, 이 용 한**, 박 용 서***, 황 금 찬*

The study on the Capacity of Synchronous CDMA Return link for a Ka band Satellite Communication System

Seung-hoon Hwang*, Yong-han Lee**, Yong-Seo Park***, Keum-chan Whang* *Regular Members*

요 약

멀티미디어 서비스를 위한 미래 위성통신용 Ka 대역(20/30 GHz)은 지상의 간섭으로부터 자유롭고 상대적으로 넓은 주파수 대역을 장점으로한다. 그러나, Ka 대역의 큰 단점은 강우 조건에서 매우 큰 대기중감쇄가 존재한다는 점이다. 동기화 CDMA는 유연한 주파수 재사용과 연성 통화인계(soft-handover), 간섭에 덜 민감한 점등의 이동통신을 위한 CDMA의 주요 특징뿐만아니라, 자기간섭을 상당히 줄일 수 있다는 특징도 가진다. 본 논문에서는 Ka 대역에서 운용되는 동기화 CDMA 정지위성 시스템 리턴링크의 성능을 고찰하였다. 기후 조건에 영향을 받는 특성을 가지는 정지위성 채널에 대해 신호의 포락선과 위상을 가우시안으로 모델링 하였다. 강우 조건에서의 비트 오류율과 outage 확률 그리고 불완전한 칩동기화로 인한 검출손실을 해석적으로 계산하고, 기후 조건에 의한 시스템 수용용량 감소를 추정하였다. 강우에 의해 모든 사용자가 영향을 받는 일반적인 경우와, 기준 사용자만 영향을 받는 최악의 경우 두가지 경우에 대한 분석이 수행되었는데, 그 결과 동기화 CDMA는 전력제어 요구의 부담을 덜어주고, 불완전한 전력제어에 덜 민감함을 보였다.

ABSTRACT

Future satellite communication systems will be developed at Ka-band (20/30 GHz) owing to the relatively wide frequency allocation and current freedom from terrestrial interference for multimedia services. A serious disadvantage of the Ka-band, however, is the very high atmospheric attenuation in rainy weather. Synchronous CDMA drastically reduces the effect of self-noise with several interesting features of CDMA for mobile communications such as flexible frequency reuse, the capability of performing soft-handover and a lower sensitivity to interference. This paper evaluates the performance of a synchronous CDMA return link for a Ka-band geostationary satellite communication system. For a fixed satellite channel whose characteristics depend on weather conditions, the signal envelope and phase for this channel is modelled as Gaussian. The bit error and outage probability, and the detection

* 연세대학교 전기공학과

** 삼성 전자C&C 연구소 연구원

*** 경원대학교 전기전자공학부

* 연세대학교 전기공학과

論文番號 : 97474-1229

接受日字 : 1997年 12月 29日

loss due to imperfect chip timing synchronization is analytically evaluated and the system capacity degradation due to the weather condition is estimated. The two cases consist of the general case in which all users are affected by rain condition, and the worst case in which the reference user is only affected by rain attenuation. The results for two cases of rain condition clearly show that synchronous CDMA eases the power control requirements and has less sensitivity to imperfect power control.

I. 서론

최근 Ka 대역 정지위성 시스템은 차세대 개인휴대 통신망을 실현하기 위한 해답으로 각광을 받고 있다 [1], [2], [3]. 차세대 이동통신 시스템은 다양한 유형의 단말 (예를 들면 차량, 항공, 선박, 리모트 데이터 취합과 제어국, 그리고 휴대 단말)에 넓은 영역의 서비스 (예를 들면 음성/화상 전화, 고속 데이터, 화상회의, 음성/화상 방송, 라디오 페이징)을 제공할 수 있다 [2], [3], [4].

최근 지상 및 위성 개인 통신망을 위한 CDMA의 능력에 대한 관심이 증가하고 있다 [5], [6]. CDMA는 유연한 주파수 재사용과 연성 통화인계(soft-handover)를 수행하는 능력 그리고 간섭에 덜 민감한 점등 이동통신을 위한 중요한 특징을 보인다. 더군다나, Gaudenzi는 자기잡음의 영향을 크게 감소시키는, 기존의 직접 대역확산 CDMA의 모든 장점을 가지고 있는 유사동기화 CDMA라는 새롭고 효율적인 접속 방법을 제안하였다 [7]. 많은 연구 논문들이 (예를 들면, [8], [9], [10]) 위성시스템을 위한 유사동기화 CDMA 구조의 디자인에 대한 많은 연구가 진행되고 있음을 보이고 있다.

Ka 대역에서 동기화 CDMA 위성 통신 시스템의 성능을 예측하기 위해서는 채널의 특성을 고려해야 한다. 20/30 GHz 주파수 대역은 넓은 주파수 대역을 제공하면서도 아직 밀집하지 않은 이유로 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나, 20/30 GHz 주파수 대역은 강우와 같은 기후 영향에 많은 대기중 감쇄를 받는다는 치명적인 단점을 가지고 있다 [11]. 그러므로, 본 논문에서는 이러한 채널 특성상의 기본적인 차이점을 고려하여 Ka 대역의 위성통신 리턴링크에서의 동기화 CDMA의 성능을 분석할 것이다.

채널 특성이 동기화 CDMA 위성시스템의 성능에

미치는 영향에 대한 분석이 본 논문의 주요 관심사이다. 본 논문의 분석에 사용된 채널 모델은 가우시안 분포의 랜덤변수로 채널 특성을 나타낸다 [12]. 비트 오류율과 outage 확률, 그리고 불완전한 칩 타이밍 동기화에 의한 검출손실이 해석적으로 계산되었으며, 기후 조건에 의한 수용용량의 감소가 추정되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기후 조건에 따른 채널모델을 설명하고, 시스템 모델과 성능 분석은 3장과 4장에서 각각 행해진다. 5장은 수치해석 결과를 보이고, 마지막으로 결론은 6장에서 주어진다.

II. 채널 및 시스템 모델

2.1 채널 모델

Ka 대역 정지위성 통신에서 채널 특성은 주로 기후 조건의 영향을 받는다. 기후조건에 의존하는 채널특성을 보이는 Ka 대역 채널의 통계적인 채널모델은 [12]에서 모델링되었다. [12]에서는 정지위성통신 채널 모델을 신호 포락선과 위상에 대해 가우시안으로 가정하고 있다. 그 결과 수신 신호의 포락선과 위상의 확률 밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_{\lambda}(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp(-(\lambda - m)^2 / 2\sigma^2) \quad (1)$$

여기서, m 과 σ^2 은 각각 신호의 포락선과 위상의 평균과 분산이다.

각기 다른 기후조건에 대한 통계적인 채널 모델은

표 1. 정지위성 채널 포락선 모델[12]
Table. 1 Fixed satellite envelope channel model

기후조건	포락선 모델 파라미터	
	평균	분산
강우	0.662	0.02

[12]에 주어져있는데, 표 1은 정지위성에서 강우 조건 하에서 신호 포락선 확률 분포에 대한 가우시안모델 파라미터를 보여주고 있다. 본 논문에서는 분산값으로 나타나는, 가장 큰 신호 포락선 변화를 보이는 강우 환경에 대한 성능 분석을 하였다.

만약 수신기가 전체 신호의 위상에 닫힐수 있다면 (lock), 단지 포락선 페이딩만이 고려되어야한다 [13]. [13]으로부터, 대역 확산 통신 경우의 비트 오류는 위상변화를 제거함으로써 협대역 변조에 비해 적은 변화를 보인다. 그러나, 보다 큰 트래킹 대역폭에 따라 루프 잡음이 증가함으로써 항상 일정량의 위상 잡음 오류가 존재한다. 그러므로, 단지 포락선 페이딩만을 사용함으로써, 비트 오류 계산의 하한을 얻게된다.

2.2 시스템 모델

동기화라고 가정하면, M개의 송신기들이 위성 트랜스폰더 입력에서 타이밍 클락과 반송파 주파수를 일치시킬수 있다고 생각할수 있다. 또한, 이론적인 분석을 위해서 본 논문에서는 선형채널 모델을 가정한다. 그러면, j번째 DS/SS 사용자 신호의 기저대역 표현은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\tilde{s}_r^j(t) = \sqrt{p} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} (c_{p, |i|_N}^j d_{p, (i)_N}^j + jc_{q, |i|_N}^j d_{q, (i)_N}^j) g_T(t - iT_c) \quad (2)$$

여기서

$|i|_N = i \text{ modulus } N$

$$\{i\}_N = \text{int} \left\{ \frac{i}{N} \right\}$$

여기서 \sim 는 복소 신호임을 나타내며, P 는 모든 사용자에게 공통인 평균 송신전력, $g_T(t)$ 는 송신필터의 임펄스 응답이다. $c_{p,i}^j$ 와 $c_{q,i}^j$ 는 각각 j번째 송신기의 동상(I)과 직교(Q)열의 확산 부호의 칩을 나타낸다. $d_{p,k}^j$ 와 $d_{q,k}^j$ 는 j번째 송신기의 동상(I)과 직교(Q) 열의 k번째 데이터 심볼을 나타낸다. 그리고, 마지막으로 $N = T_b / T_c$ 는 확산 요소를 나타낸다. 칩 간격 T_c 는 비트 간격 T_b 와 처리 이득 $G_p = T_b / T_c$ 을 통해 관련을 가진다.

($G_p = N$ for BPSK, $G_p = N/2$ for QPSK).

간략화된 동기 (coherent) CDMA 수신기의 구조는

그림 1과 같다. 수신된 DS/SS-CDMA 신호의 기저 대역 표현은 M개의 다른 신호의 합으로 식 (2)을 이용하여 다음과 같이 나타낸다.

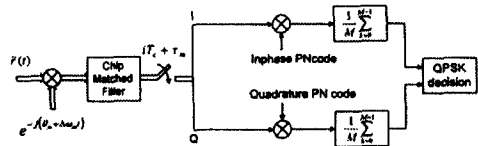


그림 1. 간략화된 코히어런트 CDMA 수신기
Fig. 1 A simplified coherent CDMA receiver

$$\tilde{s}_R(t) = \sum_{j=1}^M \sqrt{p} \lambda_j \sum_{i=-\infty}^{\infty} (c_{p, |i|_N}^j d_{p, (i)_N}^j + jc_{q, |i|_N}^j d_{q, (i)_N}^j) g_T(t - iT_c - \tau_j) \cdot \exp[j(\Delta\omega_j t + \Delta\theta_j)] + \tilde{n}_1(t) \quad (3)$$

여기서 λ_j 는 기후 조건에 의한 채널 특성을 나타내는 랜덤 변수를 나타낸다. λ_j 는 i.i.d.의 가우시안 분포로 근사화되며, τ_j 와 $\Delta\theta_j$ 는 각각 미지의 지연 시간과 반송파 위상 천이를 나타낸다. 그리고, $\Delta\omega_j$ 는 국지 오실레이터의 반송파 주파수 오프셋이다. 백색 가우시안 잡음 프로세스 $\tilde{n}_1(t) = n_{r1}(t) + jn_{r2}(t)$ 는 양방향 전력 스펙트랄 밀도 (PSD) N_0 을 가지는 독립적인 real/imaginary 성분이다.

III. 성능 분석

본장에서는 완전동기화가 이루어진 이상적인 경우와 타이밍 오류를 포함하는 유사동기화를 보이는 실제적인 경우로 나누어 해석적인 분석을 행하였으며 완전동기화의 경우는 outage 확률을 구하여 실제적인 시스템 성능을 알아보았다.

3.1 완전동기화 오울

3.1.1 비트 오울

본 절의 분석은 완전 동기화 시스템이라는 가정하에 수행한다. 이는 $\tau_j = \tau, \forall j, \Delta\omega_j = \Delta\omega = \Delta\omega_j$ 을 의미한다. 그러므로, 이상적인 상관 수신기라고 가정하면, 사용자 l 에 대한 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s'_p(r) = T_s \sqrt{P} \lambda_i d'_{p,r} + T_c \sum_{j=1, j \neq i}^M \sqrt{P} \lambda_j d'_{p,r} C_{p,p}^{j,i} + N_{c,p}^i(r) \quad (4)$$

$$s'_q(r) = T_s \sqrt{P} \lambda_i d'_{q,r} + T_c \sum_{j=1, j \neq i}^M \sqrt{P} \lambda_j d'_{q,r} C_{q,q}^{j,i} + N_{s,q}^i(r)$$

$$\text{여기서 } C_{m,m}^{i,i} = \sum_{k=0}^{N-1} c_{m,k}^i c_{m,k}^i \quad m=p, q$$

M값이 큰 경우, 총 다중 접속 간섭은 중앙극한정리(Central limit theorem)에 의해 평균 0을 가지는 가우시안 랜덤 변수로 모델링할 수 있다. $C_{p,p}^{i,i} = C_{q,q}^{i,i}$ 라 가정하고, $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M)$ 을 조건부로서의 조건부 오류 확률은 다음과 같다.

$$P'_{e|i} = Q \left(\frac{\frac{2E_b}{N_0} \lambda_i}{\sqrt{1 + \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^M [\lambda_j C_{m,m}^{i,i}]^2}{2G_p^2}}} \right) \quad (5)$$

동일 전력을 가지고 preferentially phased Gold codes를 사용하는 완전히 동기화된 시스템에서 [7], $C_{m,m}^{i,i} = -1$ 이다. 그러므로, (5)는 아래 식과 같이 변형된다.

$$P'_{e|i} = Q \left(\frac{\frac{2E_b}{N_0} \lambda_i}{\sqrt{1 + \frac{\chi}{2G_p^2} \frac{E_b}{N_0}}} \right) = Q(\lambda_i a(\chi)) \quad (6)$$

여기서

$$\chi = \sum_{j=1, j \neq i}^M [\lambda_j]^2, \quad a(\chi) = \frac{\frac{2E_b}{N_0}}{\sqrt{1 + \frac{\chi}{2G_p^2} \frac{E_b}{N_0}}} \quad (7)$$

이제 평균 오류 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_e = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty p'_{e|i} p(\lambda_i) p(\chi) d\lambda_i d\chi \quad (8)$$

(1) 모든 사용자가 기후의 영향을 받은 경우(General case)

동일한 스팟빔에 모든 사용자가 속해 있는 경우와 같이, 모든 사용자가 기후 조건에 영향을 받는다고 가정하면, 이 경우의 성능은 다음과 같다. 0이 아닌 평균을 가지는 가우시안 랜덤변수들의 제곱으로 얻어지는 noncentral chi-square 분포를 고려해보자. $\lambda_j, j=1, 2, \dots, M$ 는 동일한 평균 m 과 동일한 분산 σ^2 을 가지고 통

계적으로 독립이라고 가정한다. 그러면, 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$p(\chi) = \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{\chi}{(M-1)m^2} \right)^{(M-3)/4} e^{-((M-1)m^2 + \chi)/2\sigma^2} I_{(M-1)/2-1} \left(\sqrt{\chi} \frac{m\sqrt{M-1}}{\sigma^2} \right), \quad \chi \geq 0 \quad (9)$$

여기서 $I_n(x)$ 는 n 승 수정된 1종 베셀 함수이다.

평균 오류 확률은 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty Q(\lambda_i a(\chi)) \exp\left(-\frac{(\lambda_i - m)^2}{2\sigma^2}\right) p(\chi) d\lambda_i d\chi \\ = \int_0^\infty Q\left(\frac{a(\chi)m}{\sqrt{1+a(\chi)^2\sigma^2}}\right) p(\chi) d\chi \quad (10)$$

여기서 마지막 등식은 적분의 수를 줄이기 위해 조인트 밀도 함수의 circular symmetry 성질과 적분 경계가 선형적임을 이용해 Q-함수와 가우시안 분포를 가지는 두 개의 랜덤 변수를 하나로 묶어 새로운 랜덤 변수로 정리한 것이다.

(2) 기준 사용자만 기후의 영향을 받은 경우(Worst case)

글로벌 빔에 사용자들이 넓게 분포하고 있는 경우와 같이 기준 사용자만이 기후 조건의 영향을 받는다고 가정하면, 오류 확률은 다음과 같다.

$$P_e = Q\left(\frac{bm}{\sqrt{1+b^2\sigma^2}}\right) \quad (11)$$

$$\text{여기서 } b = \frac{\frac{2E_b}{N_0}}{\sqrt{1 + \frac{(M-1) E_b}{2G_p^2} \frac{E_b}{N_0}}}$$

3.1.2 Outage 확률

평균 비트 오류율이 각 데이터 비트 수신기의 정확도를 나타낸다면, outage 확률 P_{out} 은 위에서 구한 조건부 확률이 기후 인자의 랜덤한 성질 때문에 어떤 기준 오류율 P_0 아래로 떨어질 확률을 나타낸다. outage 확률을 수학적으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_{out} = P(p_{\lambda_i, \lambda_e}^i \geq p_0) \quad (12)$$

식 (5)에서 $P_{\lambda_i, \lambda_i} = P^\circ$ 라고 가정하면, α 는 아래와 같이 정의 된다.

$$\alpha = \lambda_i \sqrt{1 + \frac{\chi}{2G_p^2} \frac{E_b}{N_0}} \quad (13)$$

따라서, 식 (13)은 다음과 같이 다시 쓸수있다.

$$(\lambda_i)_{\text{threshold}} = \alpha \sqrt{\frac{1 + \frac{\chi}{2G_p^2} \frac{E_b}{N_0}}{\frac{2E_b}{N_0}}} = f(\chi)$$

여기서,

$$\int_{-\infty}^{f(\chi)} p(\lambda_i) d\lambda_i = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{f(\chi)} \exp\left(-\frac{(\lambda_i - m)^2}{2\sigma^2}\right) d\lambda_i = g(\chi) \quad (14)$$

따라서 outage 확률은 다음과 같다.

$$P_{\text{out}} = \int_0^{\infty} g(\chi) p(\chi) d\chi \quad (15)$$

(1) 모든 사용자가 기후의 영향을 받는 경우(General case)

모든 사용자가 감쇄를 받은 경우 Outage 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{\text{out}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{f(\chi)} \exp\left(-\frac{(\lambda_i - m)^2}{2\sigma^2}\right) p(\chi) d\lambda_i d\chi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\frac{f(\chi) - m}{\sigma}} \exp\left(-\frac{\lambda_i^2}{2}\right) p(\chi) d\lambda_i d\chi \quad (16)$$

(2) 기준 사용자만 기후의 영향을 받는 경우(Worst case)

기준 사용자만 기후 감쇄를 받았다고 가정하면, 좀 더 간단히 다음과 같이 표현된다.

$$P_{\text{out}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{(\lambda_i - m)^2}{2\sigma^2}\right) d\lambda_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{z - m}{\sigma}} \exp\left(-\frac{\lambda_i^2}{2}\right) d\lambda_i \quad (17)$$

$$(\lambda_i)_{\text{threshold}} = \alpha \sqrt{\frac{1 + \frac{(M-1) E_b}{2G_p^2 N_0}}{\frac{2E_b}{N_0}}} = z$$

3.2 유사동기화 오율

3.2.1 비트 오율

네트워크에 접속하는 다수의 사용자 사이에 랜덤 분포의 칩 타이밍 에러가 존재하는 경우, 가우시안 간섭 모델링에 근거한 유사동기화 CDMA의 비트 오율 계산은 [7]을 참조하면, 다음과 같이 유도될수 있다.

상관계수를 다음과 같이 정의하면,

$$[C_{z_u}^{j,l}(\tau, \phi, \tau_1, \tau_2)]^r = \frac{1}{T_c} \int_{\tau_1}^{\tau_2} c_z^j(t - \tau + \hat{\tau}_i) c_u^l(t) \cdot \cos[(t + \hat{\tau}_i) + \phi] dt$$

$$[C_{z_u}^{j,l}(\tau, \phi, \tau_1, \tau_2)]^r = \frac{1}{T_c} \int_{\tau_1}^{\tau_2} c_z^j(t - \tau + \hat{\tau}_i) c_u^l(t) \cdot \sin[(t + \hat{\tau}_i) + \phi] dt \quad (18)$$

$$\text{여기서, } c_z^j(t) = \sum_{i=0}^{N-1} c_{z_i}^j \cdot \text{rect}_{T_c}(t - iT_c)$$

위 식에서 $\text{rect}_{T_c}(t)$ 는 칩 주기 T_c 를 가지는 구형파(rectangular pulse)이다.

$$\text{rect}_{T_c}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

그리고 다음 정의를 이용하면,

$$\Gamma_{i,j} \equiv 1 - \delta_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{if } i=j \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

잡음 성분은 다음과 같이 정리 된다.

$$N_p^l(r, \bar{\tau}, \bar{\phi}, \bar{\alpha}) \equiv T_c \sqrt{P_l} \sum_{j=1}^M \alpha_{j,l} \gamma_j$$

$$\begin{aligned} & \{d_{p,r-1}^j \Gamma_{j,l} [C_{p,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_i)] \\ & + d_{p,r}^j \Gamma_{j,l} [C_{p,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_i, T_s)] \\ & - d_{a,r-1}^j [C_{a,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_i)] \\ & - d_{a,r}^j [C_{a,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_i, T_s)]\} + N_{c,p}^l(r) \end{aligned}$$

$$N_q^l(r, \bar{\tau}, \bar{\phi}, \bar{\alpha}) \equiv T_c \sqrt{P_l} \sum_{j=1}^M \alpha_{j,l} \gamma_j$$

$$\begin{aligned} & \{d_{a,r-1}^j \Gamma_{j,l} [C_{a,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_i)] \\ & + d_{a,r}^j \Gamma_{j,l} [C_{a,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_i, T_s)] \\ & + d_{p,r-1}^j [C_{p,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_i)] \\ & + d_{p,r}^j [C_{p,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_i, T_s)]\} + N_{c,q}^l(r) \end{aligned} \quad (20)$$

아래와 같은 조건에서,

$$\begin{cases} E\{d_{p,i}^j d_{q,k}^l\} = 0, & \forall i, k, j, l \\ E\{d_{p,r-1}^j d_{p,r}^j\} = 0, & \forall r, j \\ E\{d_{q,r-1}^j d_{q,r}^j\} = 0, & \forall r, j \end{cases} \quad (21)$$

$$E\{N_{c,p}^2(r)\} = E\{N_{s,q}^2(r)\} = N_0 T_s \quad (22)$$

잡음의 분산은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} [\sigma_i^p]^2 &= E\{[N_i^p]^2\} = N_0 T_s + T_c^2 P_l \sum_{j=1}^M \alpha_{j,i}^2 \lambda_j^2 \\ &\quad \cdot E\{\Gamma_{j,l}[C_{p,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_l)]^2 \\ &\quad + \Gamma_{j,l}[C_{p,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_l, T_s)]^2 \\ &\quad + [C_{p,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_l)]^2 \\ &\quad + [C_{p,p}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_l, T_s)]^2\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\sigma_i^q]^2 &= E\{[N_i^q]^2\} = N_0 T_s + T_c^2 P_l \sum_{j=1}^M \alpha_{j,i}^2 \lambda_j^2 \\ &\quad \cdot E\{\Gamma_{j,l}[C_{q,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_l)]^2 \\ &\quad + \Gamma_{j,l}[C_{q,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_l, T_s)]^2 \\ &\quad + [C_{q,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, 0, \tau_j - \hat{\tau}_l)]^2 \\ &\quad + [C_{q,q}^{j,l}(\tau_j, \phi_j, \tau_j - \hat{\tau}_l, T_s)]^2\} \end{aligned} \quad (23)$$

그러므로,

$$\begin{aligned} [\sigma_i^p]^2 &= N_0 T_s + P_l(M-1) T_c^2 \mu_i^p \\ [\sigma_i^q]^2 &= N_0 T_s + P_l(M-1) T_c^2 \mu_i^q \end{aligned} \quad (24)$$

여기서,

$$\mu_i^p \equiv \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M \alpha_{j,i}^2 \mu_{p,j}^l$$

$$\mu_i^q \equiv \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M \alpha_{j,i}^2 \mu_{q,j}^l$$

그리고,

$$\begin{aligned} \mu_{i,j}^p &\equiv \lambda_j^2 \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{T_c} \{\Gamma_{j,l}[C_{p,p}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, 0, \Delta\tau)]^2 \\ &\quad + \Gamma_{j,l}[C_{p,p}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, \Delta\tau, T_s)]^2 + [C_{p,p}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, 0, \Delta\tau)]^2 \\ &\quad + [C_{p,p}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, \Delta\tau, T_s)]^2\} \cdot p(\Delta\phi) p(\Delta\tau) d\Delta\phi d\Delta\tau \end{aligned}$$

$$\mu_{i,j}^q \equiv \lambda_j^2 \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{T_c} \{\Gamma_{j,l}[C_{q,q}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, 0, \Delta\tau)]^2$$

$$\begin{aligned} &+ \Gamma_{j,l}[C_{q,q}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, \Delta\tau, T_s)]^2 + [C_{q,q}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, 0, \Delta\tau)]^2 \\ &+ [C_{q,q}^{j,l}(\Delta\tau, \Delta\phi, \Delta\tau, T_s)]^2\} \cdot p(\Delta\phi) p(\Delta\tau) d\Delta\phi d\Delta\tau \end{aligned} \quad (25)$$

여기서, $p(z)$ 는 랜덤 변수 z 에 대한 확률 밀도 함수이다.

가우시안 간섭하에서 l 번째 사용자 오류는 최종적으로 다음과 같다.

$$P_e^l = \frac{1}{2} (P_{e,p}^l + P_{e,q}^l) \quad (26)$$

여기서 $k=p, q$ 에 대해

$$P_{e,k}^l = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b T_s \lambda_i^2}{[\sigma_i^k]^2}}\right) \quad (27)$$

(1) 모든 사용자가 강우의 영향을 받은 경우(General case)

$$P_e^l = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty Q\left(\sqrt{\frac{2E_b T_s \lambda_i^2}{[\sigma_i^k]^2}}\right) f(\lambda) d\lambda \quad (28)$$

여기서 random 변수 λ 의 분포가 (m, σ^2) 로 서로 독립적이라고 가정하면, 위의 BER 은 noncentral chi-square 분포에 의해 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$P_e^l = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty Q\left(\sqrt{\frac{2E_b T_s \lambda_i^2}{[\sigma_i^k(\lambda_k)]^2}}\right) f(\lambda_k) f(\lambda_l) d\lambda_k d\lambda_l \quad (28)$$

$$\begin{aligned} f_{\lambda_k}(\lambda_k) &= \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{\lambda_k}{(M-1)m^2}\right)^{(M-3)/4} e^{-((M-1)m^2 + \lambda_k)/2\sigma^2} I_{(M-1)/2-1} \\ &\quad \cdot \left(\sqrt{\lambda_k} \frac{m\sqrt{M-1}}{\sigma^2}\right), \quad \lambda_k \geq 0 \end{aligned}$$

$f_{\lambda_l}(\lambda_l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\lambda_l - m)^2}{2\sigma^2}\right)$, $I_n(x)$ 는 1종의 n 차 수정된 베셀 함수이다.

여기서 랜덤 변수 $\lambda_k = \sum_{i=1, i \neq l}^M \lambda_i^2$ 이다.

(2) 기준 사용자만 강우의 영향을 받은 경우(Worst case)

$$P_e^l = \int_{-\infty}^\infty Q\left(\sqrt{\frac{2E_b T_s \lambda_i^2}{[\sigma_i^k]^2}}\right) f(\lambda_l) d\lambda_l \quad (29)$$

IV. 해석 결과

식 (6), (7)을 이용하면, 오율 (8)을 계산할수 있다. 그림 2, 3과 4는 동기화 CDMA의 비트 오율을 일반적인 경우와 최악의 경우에 대해, AWGN과 강우 조건에서 사용자수, 의사잡음부호의 길이, 사용자수에 따라

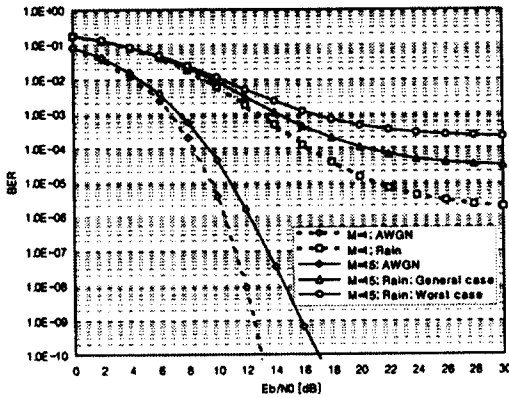


그림 2. AWGN과 강우 조건에서 동기화 CDMA의 비트 오율 (M=1, 15, N=31)

Fig. 2 Bit error probability of synchronous CDMA with AWGN and rain condition for M=1 and M=15 users, and Gold code length N=31

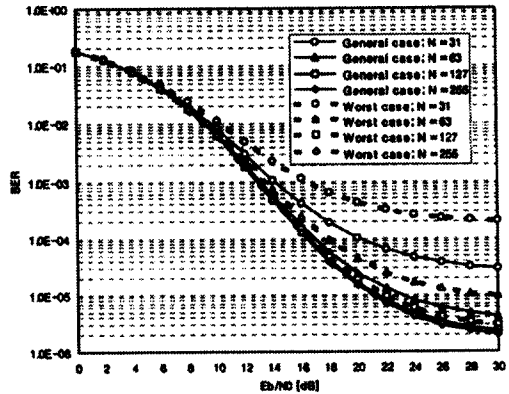


그림 3. 강우 조건에서 동기화 CDMA의 확산부호 길이에 따른 비트 오율 (M=15, N=31, 63, 127, 255)

Fig. 3 Bit error probability of synchronous CDMA with rain condition for M=15 users and Gold code length as a parameter

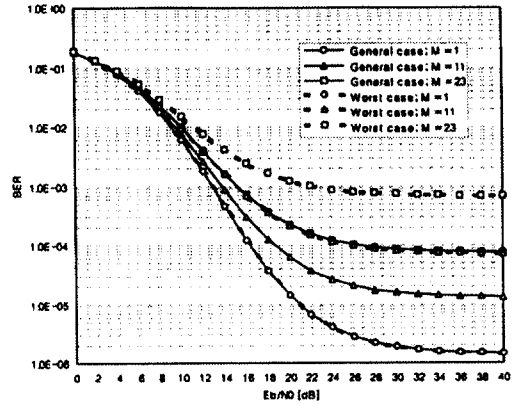


그림 4. 강우 조건에서 동기화 CDMA의 사용자수에 따른 비트 오율 (M=1, 11, 23, N=31)

Fig. 4 Bit error probability of synchronous CDMA with rain condition for Gold code length N=31 and users as a parameter

구한 그래프이다. 그림 2는 강우 기후조건에 의한 동기화 CDMA 시스템 성능의 감쇄 정도를 보여주는 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 10^{-3} 의 비트 오율을 유지하기 위해 AWGN 채널과 비교하면 일반적인 경우는 약 6.5dB, 최악의 경우는 약 8.5dB 정도의 E_b/N_0 증가가 필요하다. 여기서, E_b/N_0 는 간섭의 전력을 포함하지 않는 평균 신호대 잡음비임에 주목하자. 그러므로, 증가하는 E_b/N_0 는 비트 오율을 감소시켜, 결국 간섭전력에 의해 생기는 irreducible 비트 오율에 다다르게 된다. 그러나, AWGN에 대해서는 동기화의 경우에 자기간섭양은 무시할만한 양이므로, 그래프는 폭포수모양을 보인다. 그림 3은 확산 부호의 길이가 증가함에 따라 처리 이득이 늘어나므로 비트 오율이 감소함을 보여주고 있다. 하지만, 127 칩 이상의 확산 부호의 길이에서는 큰 성능개선을 보이지 않는다. 그림 4는 사용자수에 따른 시스템 성능을 보이는데, 강우 조건에서 사용자수가 증가함에 따라 성능의 열화가 나타남을 알수 있다.

Outage 확률 (15)는 그림 5와 6에 강우와 $N = 31$ 인 경우, $M = 1$ 과 $M = 15$ 에 대해 각각 보여진다. 그림 5와 그림 6은 10^{-3} 의 outage 확률을 얻기 위해서는, 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} 각각의 임계값에 대해 17.5, 20, 21dB의

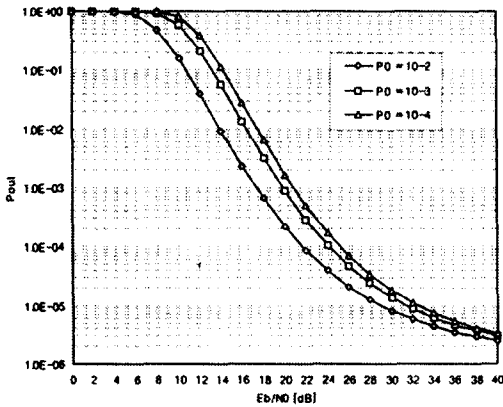


그림 5. 강우 조건에서 동기화 CDMA의 outage 오율 (M=1, N=31)
 Fig. 5 Outage probability for synchronous CDMA with rain condition for M=1 user and Gold code length N=31

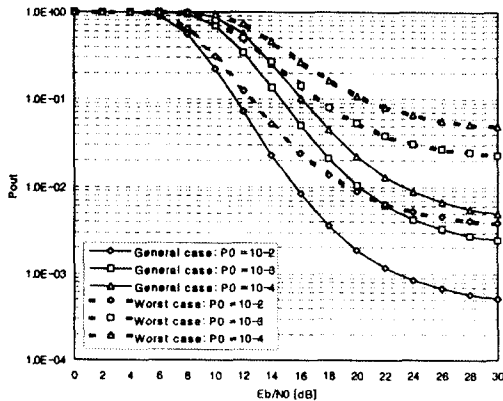


그림 6. 강우 조건에서 동기화 CDMA의 outage 오율 (M=15, N=31)
 Fig. 6 Outage probability for synchronous CDMA with rain condition for M=15 users and Gold code length N=31

E_b/N_0 가 필요하다. 그림 6은 강우의 두가지 경우(모든 사용자가 감쇄를 받은 경우, 기준 사용자만 감쇄를 받은 경우)에 대해 임계값 p_0 를 가지고 E_b/N_0 의 함수로 outage 확률을 보여주는 그래프이다. 모든 사용자가 강우의 감쇄를 받은 경우, 10^{-2} 의 outage 확률을 얻기 위해, 임계값이 10^{-2} 일때와 비교하여, 임계값이 10^{-3} 일

때는 약 4dB, 임계값이 10^{-4} 일때는 약 7dB의 E_b/N_0 증가가 나타난다. 또한 그림에서 기준 사용자만 강우의 감쇄영향을 받은 경우는 시스템 성능에 크게 영향을 주는 outage 확률이 크게 증가함을 보여준다.

강우조건하의 이상적인 동기화 CDMA의 해석적인 분석결과는 3.1절에서 구해졌는데, 보다 실제적인 유사동기화 CDMA의 성능은 3.2절 해석결과를 이용하여 다음과 같이 얻을수 있다. 그림 7에서는 AWGN과 강우감쇄가 있는 경우 $E_b/N_0=10dB, N=31, M=15$ 에서 타이밍 오류의 영향을 보여준다. 그림 7은 이론적인 결과와 시뮬레이션의 결과가 완전히 일치함을 보여준다. 그림 7의 결과로부터 의사잡음부호를 동기화 시킴으로써 얻는 이득이 최대 칩 타이밍 오류가 1칩 이상 벗어날 때, 사라짐을 잘 보여준다. 두가지 경우의 강우 상황에 대해 BER 타이밍 오류 민감도는 타이밍 오류가 1칩 이내로 감소할 때, 따라서 감소하는 경향을 보인다. 강우와 AWGN을 비교해보면, 기후 조건은 동기화 CDMA 시스템 성능에 훨씬 큰 영향을 끼친다. 그러므로, 이러한 대기중 감쇄는 강우 감쇄 극복 방안을 매우 중요하고 가치있는 이슈로 만들고 있다. 그러나, 강우조건인 두가지 경우의 결과는 동기화 CDMA가 전력제어요구를 한층 덜어줌을 보여준다. 이는 동기화 CDMA가 비동기화 CDMA에 비해 원근(near-far) 효과에 덜 민감함을 보여준다.

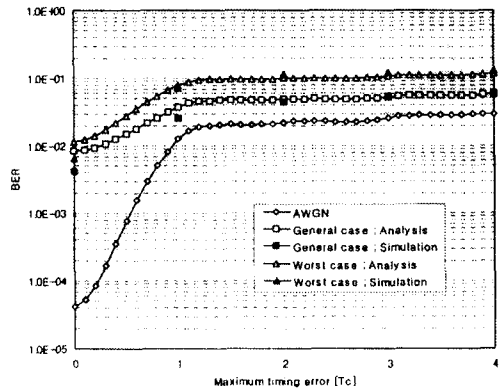


그림 7. 강우 조건에서 유사동기화 CDMA의 타이밍오류에 따른 비트 오율
 Fig.7 Bit error probability of quasi-synchronous CDMA versus timing error with rain condition for M=15 users, $E_b/N_0=10dB$ and Gold code length $N=31$ as a parameter

V 결론

본 논문에서는 Ka 대역 정지위성 통신 시스템을 위한 동기화 CDMA 리턴 링크의 성능을 분석하였다. 주요 결과는 Ka 대역에서 기후 조건은 동기화 CDMA 시스템의 성능에 막대한 영향을 준다는 점이다. 그러므로, 이 큰 대기중 감쇄는 감쇄 대책의 중요성을 한층 강화시켜준다. 그러나, 동기화 CDMA는 전력제어 요구에 대한 부담을 덜어주며 불완전한 전력제어에 덜 민감함을 보인다. 이는 동기화 CDMA가 비동기화 CDMA에 비해 원근효과에 덜 민감함을 보여주는 것이다.

강우에 의한 신호 감쇄를 두 가지 경우(모든 사용자가 감쇄 영향을 받는 경우와 기준사용자만 감쇄영향을 받는 경우)로 나누어 분석하였다. 두 경우 감쇄 조건을 원근 효과라 생각할 때, 10^{-1} 의 비트 오류율을 얻는데 약 2dB 정도의 E_b/N_0 차이가 발생한다. 따라서 강우에 의한 감쇄의 경우 동기화 시스템은 비동기 시스템에 비해 전력 제어의 부담이 덜하다.

향후 본 논문에서 분석된 강우 감쇄 영향 분석을 기반으로하여, 기후 조건에 의한 감쇄를 극복하기 위한 방법에 대한 연구(예를 들면, 전력 제어, 오류 정정 부호, 다이버시티 기법)와 이러한 기법이 동기화 CDMA 위성 시스템의 성능에 미치는 영향 분석이 행해져야 할 것이며 현재 비선형 중계기의 영향에 대한 연구가 진행중이다.

참고 문헌

1. L. C. Palmer, E. Laborde, A. Stern and P. Y. Sohn, "A personal communications network using a Ka band satellite," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.10, no.2, pp.401-417, Feb. 1992.
2. G. Losquadro, "Multimedia services using portable and mobile satellite terminals," ACTS mobile communications summit, Granada (Spain), pp.411-418, Nov. 27-29, 1996.
3. 위성 멀티미디어 기술 세미나, 한국 통신학회, 3월, 1997.
4. IEICE Trans. on Commun., Special issue on advances in satellite communications forward multimedia era, vol.E80-B, no.1, Jan. 1997.
5. K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani and L. A. Weaver, Jr., "Increased capacity using CDMA for mobile satellite communications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.8, pp.503-514, May 1990.
6. R.D. Gaudenzi, F. Giannetti and M. Luise, "Advances in satellite CDMA transmission for mobile and personal communications," Proc. of IEEE, vol.84, no.1, pp.18-39, Jan. 1996.
7. R. D. Gaudenzi, C. Elia and R. Viola, "Bandlimited quasi-synchronous CDMA: A novel satellite access technique for mobile and personal communication systems," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.10, no.2, pp.328-343, Feb. 1992.
8. C. Valadon, P. Taaghoul, B. G. Evans and R. Tafazolli, "Link design and dimensioning of CDMA, the alternative multiple access in SECOMS," Third Ka band utilization conference, Sorrento, Italy, pp.503-510, 15-18, Sept. 1997.
9. S. Crozier, B. Mazur and L. Erup, "Design of a synchronous CDM forward link and a quasi-synchronous CDMA return link for future satellite based mobile and personal communication systems," International mobile satellite conference, pp.473-478, 1997
10. 황금찬, 조용훈, 황승훈, 권순일, 이용한, 최승훈, "Ka 대역 지구국 기능 및 구조 연구," 최종 보고서, 한국 전자통신 연구원, 1997.
11. Proc. of IEEE, Special issue on Ka band propagation effects on earth-satellites link, vol.85, no.6, June, 1997.
12. C. Loo, "Statistical models for land mobile and fixed satellite communications at Ka band," IEEE Vehicular Technology Conference, Atlanta, the U.S.A., pp.1023-1027, 1996.
13. R. D. J. van Nee, H. S. Misser and R. Prasad, "Direct sequence spread spectrum in a shadowed Rician fading land mobile satellite channel," IEEE J. Select. Areas Commun., vol.10, no.2, pp. 350-

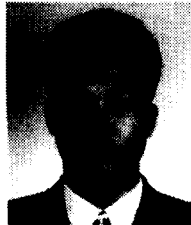
357, Feb. 1992.

- 14. M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple-access communications-part I: system analysis," IEEE Trans. Commun., vol. COM-35, pp.795-799, Aug. 1977
- 15. P. Beckmann, Probability in communication engineering, Harcourt, Brace & World, Inc., 1967



황 승 훈 (Seung-hoon Hwang)정회원
 1969년 2월 26일생
 1992년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1994년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
 1994년 3월~현재:연세대학교 전기공학과 박사과정

*주관심분야 : 주파수 확산 통신, 위성 및 이동통신
 e-mail:shhwang@commsys.yonsei.ac.kr.



이 용 한 (Yong-han Lee) 정회원
 1972년 11월 4일생
 1996년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1998년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
 1998년 3월~현재:삼성전자 C&C 연구소 연구원

*주관심분야 : 주파수 확산 통신, 위성 및 이동통신



박 용 서 (Yong-seo Park)정회원
 1958년 1월 22일생
 1982년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1984년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
 1988년 8월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학박사)

1989년 3월~현재:경원대학교 전기전자공학부 부교수
 1993년 1월~1994년 2월:University of South Florida 전기공학과 객원 교수

*주관심분야 : 이동통신 시스템, 스펙트럼 확산 통신, 디지털 신호처리
 e-mail:yspark@main.kyungwon.ac.kr



황 금 찬 (Keum-chan Whan)정회원
 1944년 7월 18일생
 1967년 2월:연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1979년 6월:Polytechnic Institute of New York,Electrical Eng.(Ph.D)

1980년 9월~현재:연세대학교 전기공학과 교수
 *주관심분야 : 이동무선통신, 대역확산통신, 탄성표면 파 소자 및 그 응용분야
 e-mail:kcwhang@bubble.yonsei.ac.kr