

빠른 초기동기 확산부호를 이용한 이동통신 시스템의 성능과 셀 구성

정회원 조 현 욱*, 박 상 규*

Mobile Communication System Performance and Cell Allocation by using Spreading code with Fast Acquisition

Hyun Wook Cho*, Sang Kyu Park* *Regular members*

요 약

본 논문에서는 비동기 DS/CDMA 시스템에서 기지국 확산 부호로 빠른 초기동기 특성을 가진 Kronecker 부호를 사용한 경우 시스템의 성능을 분석한다. 기지국 확산 부호로 Kronecker 부호를 사용하여 인접 기지국에 상호상관이 가장 큰 부호를 할당할 경우와 상호상관이 가장 적은 부호를 할당할 경우의 시스템 성능을 구한다. 이를 이용하여 기지국 구분 확산부호로서 Kronecker 부호의 타당성과 부호의 재사용 및 셀 구성방법을 제시한다.

ABSTRACT

In this paper, we analyze the performance of asynchronous DS/CDMA system with Kronecker sequence, as a spreading sequence of base station for fast initial acquisition. We compare the system performances under inter-cell interferences between reference and adjacent base stations, assigned maximally and minimally cross correlated sequences to reference base station's spreading sequence. With this results, we show the Kronecker sequence can be used as a base station spreading and identification sequence, and propose the methods of the reuse of sequences and cell planning.

I. 서 론

서로 다른 부호를 사용하여 기지국을 구분하는 비동기(asynchronous) DS/CDMA 시스템에서 사용자가 자신이 속한 기지국을 찾기 위한 부호동기(synchronization)는 시스템의 구현상 가장 중요한 부분의 하나이다. 확산대역 시스템의 동기방법은 여러 종류가 있지만, 이동통신 환경과 같이 여러 이용자가 동시에 통신함으로써 발생하는 열악한 신호대 잡음 간섭환경에 대응하여 초기동기를 이룰 수 있는 방법은 상관기를 이용한 방법이다^[1]. DS/CDMA를 사용하는 IS-95에서는 확산부호의 동기용으로

다른 채널보다 더 높은 출력신호를 갖는 파일럿 채널을 통해 시스템의 초기동기를 용이하게 하는 방식을 채택하고 있다.

동기는 대개 두 가지 과정을 거치는데 처음에 확산부호를 1칩 이내로 조정하는 초기동기과정과 이 과정을 거쳐 정확히 칩을 맞추는 동기추적과정이 있다. 특히 초기동기과정은 시간도 오래 걸릴뿐 아니라 뒤따라 진행될 동기추적과정에 큰 영향을 미치는 중요한 과정^[1]이므로 본 논문에서는 빠른 초기동기를 획득하는 것에 초점을 맞추어 전개한다.

Kronecker 부호를 구성하는 성분부호를 살펴보면 인접 성분부호로는 Gold 부호나 Kasami 부호를 이용하고 비갈쪽 성분부호로는 좋은 비주기 상관특성

* 한양대학교 전자전기공학부(skpark@email.hanyang.ac.kr)
논문번호 : 98151-0402

을 가진 Barker 부호를 이용한다. 이 부호는 바깥쪽 성분부호를 Kronecker적(積)을 이용하여 바깥쪽 성분부호로 한번 더 부호화시켜 만든다^[2].

부호 설계의 목적이 좋은 자기 상관 특성을 얻는데 있다면 안쪽 성분부호로 PN 부호를 쓰고, 좋은 상호상관특성을 얻는데 목적이 있다면 안쪽 성분부호로 홀수단에서는 Gold 부호, 짝수단에서는 Kasami 부호를 쓰면 원하는 특성의 부호를 만들어 낼 수가 있다^[2]. 본 논문에서는 빠른 초기동기가 가능한 Kronecker 부호가 랜덤부호와 비교하여 얼마나 빠른 초기동기를 획득할 수 있는지를 제시한다. Kronecker 부호를 사용하는 비동기 셀룰러 이동통신 시스템에서 랜덤부호방식과 비교하여 자기상관과 상호상관 특성의 우수성과 페이딩 채널에서 좋은 시스템 성능을 얻을 수 있음을 보여준다. 셀 구성시 간섭이 가장 큰 부호를 인접 기지국에 할당하는 경우와 간섭이 가장 작은 부호를 인접기지국에 할당하는 경우 기준 기지국의 비트오류확률을 구하여 성능의 차이를 분석한다. 이를 통하여 적은 수의 확산부호를 이용한 셀 배치 방법과 기지국 확산부호 재사용방법을 제시한다.

II. Kronecker부호

Kronecker 부호를 구성하는 성분부호를 살펴보면 안쪽 성분부호로는 Gold 부호나 Kasami 부호를 이용하고 바깥쪽 성분부호로는 좋은 비주기 상관특성을 가진 Barker 부호를 이용한다. 이 부호는 바깥쪽 성분부호를 Kronecker적을 이용하여 바깥쪽 성분부호로 한번 더 부호화시켜 만든다^[3].

Kronecker 부호의 동기는 수신된 신호와 안쪽 성분부호와의 상관을 통해서 안쪽성분의 위상을 알아낸다. 안쪽 성분부호에 대한 동기가 이루어지면 전체길이의 상관을 통해 바깥쪽 성분부호의 위상을 알아내는 방법이다. 주기가 217인 Kronecker 부호는 같은 길이의 랜덤부호보다 약 45배정도 빠른 평균 초기동기를 획득할 수 있다^[3].

기지국 확산 부호로 Kronecker 부호를 사용하는 경우 빠른 초기동기의 특성뿐 아니라 부호간 상호 간섭이 적고 좋은 자기 신호 검출 특성이 필요하다. 따라서 부호 설계의 목적이 신호검출을 위해 좋은 자기상관특성을 얻는데 있다면 안쪽 성분부호로 PN 부호를 쓰고, 상호간의 간섭을 줄이기 위해 좋은 상호상관특성을 얻는데 목적이 있다면 안쪽 성분부호

로 홀수단에서는 Gold 부호, 짝수단에서는 Kasami 부호를 쓰면 원하는 특성의 부호를 만들어 낼 수가 있다^[4]. 식(1)은 주기가 L인 자기 상관함수를 나타낸다.

$$R_A(d) = \sum_{i=1}^L x_i \cdot x_{i+d} = \begin{cases} L, & \text{for } d = 0, L, \dots \\ a, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식(1)에서 $d = 0, L, 2L, \dots$ 등과 같이 동기가 일치할 때는 자기상관값이 주기와 같고 동기가 일치하지 않을 때는 일정하지 않은 상수 a 를 갖는다. 상관값의 차이를 분별지수 (ID : Index of Discrimination)라고 정의하고 분별지수가 클수록 동기목적에 적합하다고 할 수 있다.

두개의 신호 x 와 y 의 상호상관함수는 식(2)와 같다.

$$R_C(d) = \sum_{i=1}^L x_i \cdot y_{i+d} \quad (2)$$

표 1은 부호의 길이가 $2^{14}-1$ 일 때의 자기상관 (R_A) 및 상호상관 (R_C)의 최대값과 그 절대치 평균값을 나타낸 것이다. 표 1에서 Kronecker 부호의 최대 자기상관 값은 가장 크게 나타나지만 평균값은 PN부호를 제외한 다른 랜덤계열의 부호에 비해 적다. 또한 Kronecker 부호의 상호상관 절대치 최대 값이 가장 크게 나타나지만 그 평균값은 랜덤계열과 비교해서 가장 낮다. Kronecker 부호는 랜덤계열의 부호와 비교해서 가장 나쁜 경우를 고려하면 상관특성이 약간 나쁘게 나타나지만 평균적인 상관특성은 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 1. 길이가 $2^{14}-1$ 인 확산부호의 자기상관과 상호상관 값

$2^{14}-1$	Kronecker 부호	PN 부호	Gold 부호	Kasami 부호
Max $ R_A $	2341	224	556	432
Avg $ R_A $	84.47	56.77	96.34	109.85
Max $ R_C $	887	564	508	444
Avg $ R_C $	86.10	95.76	94.65	108.88

III. 비동기 DS/CDMA 시스템

3-1. 송신기모델

모든 셀은 반경이 R인 원과 같은 면적의 정육각형으로 이루어져있고 그 중앙에 서로 다른 확산부호를 가진 기지국이 각각 위치한다고 가정한다. 여기서 한 클러스터를 37개만 고려한 이유는 클러스터 중앙에 기준셀 기지국이 존재할 때 37번째 셀보다 더 먼 곳에 존재하는 셀의 기지국으로부터는 신호전력이 거의 전달되지 않아 무시할 수 있기 때문이다.

이때 기준셀 기지국에 수신되는 신호 P_r 은 식(3)로 표현할 수 있다.

$$P_r = r^{-\gamma} \cdot P_0 \quad (3)$$

여기서, r 은 기지국간의 거리, γ 는 전력전파감쇄 지수로서 도심지역에서는 일반적으로 3.5를 쓴다. 기준기지국과의 거리가 $3R$ 인 주변 기지국에서 도달하는 수신전력은 $0.02138 P_0$ 에 불과하여 무시할 수 있으므로 37개의 셀만을 고려하도록 한다^[5].

그림 1은 일반적인 비동기 DS/CDMA 시스템의 송신모델이다. 여기서 k 번째 기지국의 송신신호 $s^{(k)}(t)$ 는 식(4)에서와 같이 정보신호 $b^{(k)}(t)$ 와 Kronecker 부호신호 $a^{(k)}(t)$ 의 곱으로 표현되며, 정보신호와 부호신호는 식(5)와 식(6)로 주어진다^[5].

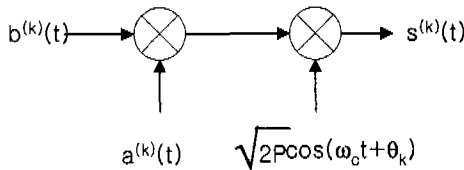


그림 1. 비동기 DS/CDMA 시스템 송신 모델

$$s^{(k)}(t) = \sqrt{2P} \cdot a^{(k)}(t)b^{(k)}(t) \cos(\omega_c t + \theta_k) \quad (4)$$

$$a^{(k)}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n^{(k)} P_{T_c}(t - nT_c) \quad (5)$$

$$b^{(k)}(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} b_m^{(k)} P_{T_b}(t - mT_b) \quad (6)$$

여기서 P 는 신호의 전송전력, θ_k 는 k 번째 송

신호의 위상을 나타내는 확률변수로 $[0, 2\pi]$ 에서 균일분포, T_b 는 정보비트 간격, T_c 는 확산부호의 칩간격, $P_{T_c}(t)$ 는 지속시간이 T_c 인 직각펄스, $P_{T_b}(t)$ 는 지속시간이 T_b 인 직각펄스, $a_n^{(k)}$ 는 k 번째 사용자에게 할당된 Kronecker 부호의 n 번째 칩, $b_m^{(k)}$ 는 k 번째 사용자 정보계열의 m 번째 비트이다.

3-2. 채널모델

DS/CDMA 시스템의 송신신호는 일반적으로 신호의 대역폭이 수 MHz 이상 되어서 도심권의 동기 대역폭 Coherence bandwidth Δf_c 가 약 50 KHz, 부도심의 경우에는 300 KHz 정도라는 사실을 고려해 볼 때 상당히 넓은 대역폭을 점유하고 있으므로 전 대역에 걸쳐 동일한 페이딩 현상이 일어난다고 볼 수 없다. 채널의 동기시간 coherence time Δt_c 는 송신신호의 비트 간격에 비해 상당히 짧으므로 비트간격 동안에 일어나는 페이딩 현상은 일정하다고 볼 수 있다. 그러므로 DS/CDMA 시스템의 경우에는 주파수 선택적 느린 페이딩 (frequency selective slow fading)을 갖는 DS/CDMA 시스템을 고려한다.

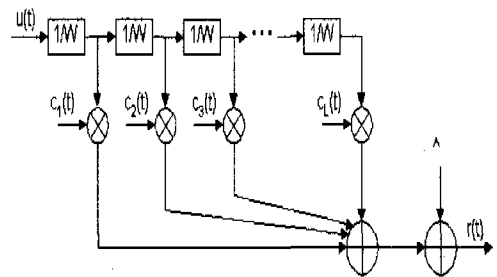


그림 2. Tapped Delay Line 모델

그림 2는 주파수 선택적 페이딩의 대표적인 모델인 Tapped Delay Line 모델로서 전송된 신호가 L 개의 서로 상관되지 않은 경로를 통하여 수신되는 것을 나타낸다^[6]. 여기서 L 은 분해 가능한 신호 성분의 수로 식(7)로 표현된다.

$$L = \lfloor W \cdot T_m \rfloor + 1 \quad (7)$$

여기서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 정수, W 는 송신 신호의 대역폭으로서 $W \approx \frac{1}{T_b}$ 이고, T_m 은 채널의

total multipath spread이다.

그림 2에서 $c_j(t) = a_j(t) \cdot e^{j\phi_k(t)}$ 는 채널의 탭 계수로 평균이 0이고, 분산이 σ_c^2 인 복소 가우시안 랜덤 프로세스로 $c_j(t), c_m(t) (j \neq m)$ 는 서로 독립이다. 본 논문에서는 느린 페이딩을 가정하므로 $c_j(t)$ 는 한 정보 비트 간격동안에는 일정하다고 볼 수 있으며 $c_j(t)$ 는 랜덤변수 c_j 로 대체할 수 있다. $a_j(t)$ 는 $c_j(t)$ 의 진폭으로서 식(8)과 같은 레일레이 분포를 가지며, 위상 $\phi_k(t)$ 는 $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 가지는 프로세스이다.

$$f_{a_j}(x) = \frac{x}{\sigma_c^2} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_c^2}\right) \quad (8)$$

등가저역 신호표현을 사용하여 페이딩 환경의 시스템을 해석하면 그림 2와 같은 채널을 통하여 수신기에 도달하는 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{j=1}^J c_j(t) \cdot u(t-j \cdot T_c) + \hat{n}(t) \quad (9)$$

여기서, $u(t)$ 는 송신신호 $s(t)$ 의 등가저역 표현이고, $\hat{n}(t)$ 는 등가저역된 가산적 가우시안 잡음이다.

3-3. 페이딩 채널에서의 간섭모델

이 절에서는 가산적 백색잡음이 존재하는 주파수 선택적 페이딩채널에서의 셀룰러 DS/CDMA 시스템을 주변셀의 기지국 확산부호에 의한 다원접속 간섭에 대해서 해석한다. 각 셀의 기지국에 전력제어되어 도달되는 전력 P_0 는 단위전력으로 두고, 각 송신신호의 전파지연은 기준 사용자의 송신신호에 대한 상대적인 값으로 표현한다.

기준셀 사용자에게 수신되는 신호 $r(t)$ 는 식(10)과 같다.

$$r(t) = y^{(i)}(t) + \sum_{m=1, m \neq i}^J y^{(m)}(t - \tau_m) + z(t) \quad (10)$$

여기서, $y^{(m)}(t) = \sum_{j=1}^J c_j^{(m)}(t) \cdot u^{(m)}(t - j \cdot T_c)$

수신된 신호가 정확히 i 번째 기준사용자 신호와 부호동기 및 위상 동기가 이루어지면 i 번째 수신기의 결정변수 $Z^{(i)}$ 는 식(11)과 같다.

$$Z^{(i)} = \text{Re} \left[\int_{T_s} r(t) \cdot a^{(i)}(t) dt \right] \quad (11)$$

$$= F_s^{(i)} + \sum_{m=1, m \neq i}^J F_I^{(m)} + \eta'$$

여기서,

$\text{Re}[x]$ 는 복소수 x 의 실수부분,

$a^{(i)}(t)$ 는 i 번째 기준사용자의 Kronecker부호신호,

$$F_s^{(i)} = \text{Re} \left[\int_{T_s} y^{(i)}(t) \cdot a^{(i)}(t) dt \right] \quad (12)$$

$$F_I^{(m)} = \text{Re} \left[\int_{T_s} y^{(m)}(t - \tau_m) \cdot a^{(i)}(t) dt \right] \quad (13)$$

$$\eta' = \text{Re} \left[\int_{T_s} z(t) \cdot a^{(i)}(t) dt \right] \quad (14)$$

IV. 셀룰러 DS/CDMA 시스템의 성능분석

Kronecker부호를 기지국 구분 확산부호로 사용하는 경우 시스템의 성능분석을 위해 기준 사용자인 i 번째 수신기의 결정변수 $Z^{(i)}$ 를 원하는 신호와 간섭신호 성분으로 나누어서 간섭성분들의 평균과 분산을 구한다. 식(11)에서 $F_s^{(i)}$ 는 페이딩 현상이 발생한 기준사용자 신호성분으로서 식(15)로 주어진다.

$$F_s^{(i)} = \text{Re} \left[\int_{T_s} \sum_{j=1}^J c_j^{(i)} \cdot u^{(i)}(t - j \cdot T_c) \cdot a^{(i)}(t - p \cdot T_c) dt \right]$$

$$= a_p \cdot T_b \cdot b_0^{(i)} + \sum_{j=1, j \neq p}^J a_j^{(i)} \cos \phi_j^{(i)}$$

$$\cdot \int_{T_s} u^{(i)}(t - j \cdot T_c) \cdot a^{(i)}(t - p \cdot T_c) dt$$

$$\approx a_p \cdot T_b \cdot b_0^{(i)} + \sum_{j=1, j \neq p}^J a_j \cdot \cos \phi_j^{(i)} \cdot I_c \quad (15)$$

식(15)에서 I_c 는 자기신호의 다중경로에 의한 간섭신호이며 식(16)과 같다.

$$I_c = \int_{T_s} u^{(i)}(t - j \cdot T_c) \cdot a^{(i)}(t - p \cdot T_c) dt \quad (16)$$

여기서 p 는 L 개의 기준사용자 다중경로신호중 가장강한 경로신호이다. 식(16)에서 기준신호에 대한 상대적인 값만이 의미가 있으므로 I_c 는 식(17)과 같다.

$$I_C = \int_0^{T_b} b^{(i)}(t-\tau_j) \cdot a^{(i)}(t-\tau_j) \cdot a^{(i)}(t) dt$$

$$= [b_{-1}^{(i)} \cdot R_{I,I}(\tau_k) + b_0^{(i)} \cdot \hat{R}_{I,I}(\tau_k)] \quad (17)$$

여기서, $R_{I,I}$ 과 $\hat{R}_{I,I}$ 은 비주기 상호상관함수 $C_{I,I}$ 으로 만들어진 것으로 $R_{I,I}(\tau_k) = C_{I,I}(\ell - N) \cdot T_c$, $\hat{R}_{I,I}(\tau_k) = C_{I,I}(\ell) \cdot T_c$ 이고 $\ell = \lfloor z/T_d \rfloor$ 이다[7]. 식(17)의 평균과 분산은 식(18),(19)와 같다.

$$E(F_S) = \alpha_p \cdot T_b \cdot b_0^{(i)} \quad (18)$$

$$Var[F_S]$$

$$= \frac{1}{2T_b} \cdot E(a_c^2)$$

$$\cdot \sum_{k=1}^{\sum_{m=1, m \neq i}^{\infty}} \sum_{p=0}^{N-1} \int_{\tau_c}^{(\ell+1)T_c} [R_{I,I}^2(\tau_k) + \hat{R}_{I,I}^2(\tau_k)] \cdot d\tau_k$$

$$= \frac{T_b^2}{2N^3} \sum_{k=1, k \neq p}^{\sum_{m=1, m \neq i}^{\infty}} \sum_{p=0}^{N-1} [C_{I,I}^2(\ell - N) + C_{I,I}^2(\ell)] \cdot E(a^2)$$

$$= \frac{T_b^2}{2N^3} \cdot (L-1) \cdot M_{I,I}(0) \cdot 2\sigma_c^2 \quad (19)$$

식(18),(19)에서

$$M_{x,y}(n) = \sum_{\ell=-P}^{P-1} C_{x,y}(\ell) \cdot C_{x,y}(\ell + n),$$

$$M_{x,y}(0) = \sum_{\ell=-P}^{P-1} C_{x,y}^2(\ell) \text{ 이다.}$$

식(11)에서 두번째 항은 인접셀의 다른 기지국 신호에 의한 간섭을 표시하며 식(20)로 표현할 수 있다.

$$= \sum_{m=1, m \neq i}^K \sum_{j=1}^L a_j^{(m)} [b_{-1}^{(m)} R_{m,I}(\tau_m) + b_0^{(m)} \hat{R}_{m,I}(\tau_m)] \cdot \cos \phi_k^{(m)}$$

$$\sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} F_I^{(m)}$$

$$= \sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} Re \left[\int_{T_c} \sum_{j=1}^L c_j^{(m)}(t-\tau_m) \cdot u^{(m)}(t-\tau_m - jT_c) \cdot a^{(i)}(t-p \cdot T_c) dt \right]$$

$$= \sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} \sum_{j=1}^L a_j^{(m)} \cos \phi_j^{(m)} \cdot \int_{T_c} b^{(m)}(t-\tau_m - j \cdot T_c) t \cdot a^{(m)}(t-\tau_m - j \cdot T_c) a^{(i)}(t-pT_c) dt \quad (20)$$

결정변수 $Z^{(i)}$ 는 모든 정보 비트에 대해 확률적 성질이 동일하므로 0번째 정보 비트의 결정변수만을 고려한다. 인접셀에 의한 간섭량인 식(20)의 분산은 식(21)이 된다.

$$Var \left[\sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} F_I^{(m)} \right]$$

$$= \frac{1}{2T_b} \cdot E(a_c^2) \sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} \beta_m \sum_{\ell=0}^{N-1} \int_{\tau_c}^{(\ell+1)T_c} [R_{m,I}^2(\tau_m) + \hat{R}_{m,I}^2(\tau_m)] d\tau_k$$

$$= \frac{T_b^2}{6N^3} \cdot L \cdot \sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} \beta_m \cdot [2M_{m,I}(0) + M_{m,I}(1)] \cdot E(a^2)$$

$$= \frac{T_b^2}{6N^3} \cdot L \cdot \sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} \beta_m \cdot \gamma_{m,I} \cdot 2\sigma_c^2 \quad (21)$$

여기서, $P_k = \beta_k \cdot P_0$ 로 P_0 는 단위전력, β_m 는 전력감쇄비율, 사용자 x 가 사용자 y 에 미치는 평균 간섭 $\gamma_{x,y} = 2M_{x,y}(0) + M_{x,y}(1)$ 이다.

식(11)의 마지막 항인

$$\eta' = \int_0^{T_b} n(t) \cdot a^{(i)} \cdot \sqrt{2} \cos \omega_c t dt \text{ 은 가우시안}$$

잡음을 표시하며 분산은 식(22)과 같다.

$$Var(\eta') = \frac{N_0 T_b}{2} \quad (22)$$

그러므로 결정변수 $Z_0^{(i)}$ 는 식(23)과 같이 원하는 신호 $\alpha_p \cdot T_b \cdot b_0^{(i)}$ 와 원하지 않는 간섭신호인 N_f 로 나눌 수 있다.

$$Z_0^{(i)} = \alpha_p \cdot T_b \cdot b_0^{(i)} + N_f \quad (23)$$

식(23)에서 간섭신호 N_f 의 평균과 분산은 식(24),(25)로 표현된다.

$$E(N_f) = 0 \quad (24)$$

$$Var(N_f) = (L-1) \cdot \frac{T_b^2 \sigma_c^2}{N^3} \cdot M_{I,I}(0)$$

$$+ L \cdot \frac{T_b^2 \sigma_c^2}{3N^3} \sum_{m=1, m \neq i}^{\infty} \beta_m \cdot \gamma_{m,I} + \frac{N_0 T_b}{2} \quad (25)$$

식(23)으로부터 평균 비트 오류확률 P_e 을 구하면 식(26)과 같다.

$$P_e = Prob(N_f > \alpha_p \cdot T_b)$$

$$= \int_0^{\infty} Q \left(\frac{x \cdot T_b}{\sigma \frac{T_b}{N}} \right) \cdot f_{N_f}(x) dx$$

$$= \frac{L}{2} \sum_{n=0}^{L-1} \binom{L-1}{n} \cdot (-1)^n \cdot \frac{1}{n+1} (1 - [1 + (n+1)\xi]^{-\frac{1}{2}}) \quad (26)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{(\sigma_{N_f})^2}{\sigma_c^2 \cdot T_b^2} \\ &= \frac{(L-1)}{N^3} \cdot M_{i,l}(0) \\ &\quad + \frac{L}{3N^3} \cdot \sum_{m=1, m \neq l}^N \beta_m \cdot r_{m,l} + \frac{L}{\gamma_b} \end{aligned} \quad (27)$$

$\bar{\gamma}_b = \frac{2\sigma_c^2 \cdot L \cdot T_b}{N_0}$ 는 평균 신호대 잡음비이다.

랜덤 계열의 확산부호를 기지국 구분 확산부호로 사용할때 수신신호의 결정변수 $Z_0^{(i)}$ 의 간섭신호성분인 N_f 의 평균과 분산은 식(28),(29)로 표현된다.

$$E(N_f) = 0 \quad (28)$$

$$Var(N_f) = \frac{T_b^2}{3N} \cdot 2\sigma_c^2 \cdot \left\{ (L-1) \cdot \frac{3}{2} + L \cdot \sum_{k=1, k \neq l}^N \beta_k \right\} \quad (29)$$

식(28),(29)로부터 식(26)을 이용하여 랜덤계열 확산부호 사용시 평균 비트오류확률을 계산할 수 있다. 이 때 식(26)에서

$$\xi = \frac{2}{3N} \cdot \left\{ (L-1) \cdot \frac{3}{2} + \sum_{k=1, k \neq l}^N \beta_k \right\} \quad (30)$$

이다.

그림 3과 표 2는 $(2^{11}-1) \times 11$ 과 $(2^{11}-1) \times 13$ 길이의 Kronecker 부호와 각각의 길이에 대응하는 랜덤 부호의 비트오류확률을 나타낸다.

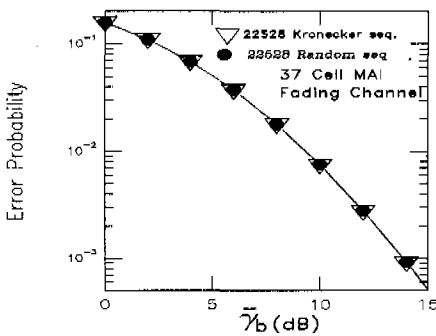


그림 3. 길이가 $(2^{11}-1) \times 11$ 인 Kronecker 부호의 비트오류확률

랜덤 부호가 Kronecker 부호보다 비트오류확률 면에서 우수하지만 차이는 아주 근소하여 두 부호

사이의 성능 차이는 거의 없음을 알 수 있다.

표 2. 길이가 $(2^{11}-1) \times 13$ Kronecker 부호와 Random 부호의 비트오류확률

$\bar{\gamma}_b$ (dB)	$(2^{11}-1) \times 13$ Kronecker 부호	$(2^{11}-1) \times 13$ Random 부호
0	0.158859	0.158836
2	0.110319	0.110285
4	0.068733	0.068690
6	0.037750	0.037704
8	0.018090	0.018047
10	0.007566	0.007533
12	0.002794	0.002772
14	0.000929	0.000917
16	0.000285	0.000279
18	0.000083	0.000080
20	0.000023	0.000022
22	0.000006	0.000006

V. 확산부호의 할당 및 부호 패턴의 재사용

5-1. 기지국 구분 확산부호의 할당

이 절에서는 기지국을 구분하기 위한 빠른 초기 동기 계열의 Kronecker 부호를 각각의 기지국에 할당 하는 방법과 부호의 할당에 따른 성능을 분석한다.

비동기 DS/CDMA 시스템의 성능을 측정하는 파라미터로 평균 SNR을 들 수 있으며 평균간섭 파라미터인 $r_{k,i}$ 로 나타난다. 평균간섭 파라미터는 주기가 N일 때 k번째 간섭 기지국신호가 i번째 기준 기지국 신호에 미치는 평균간섭을 나타내며 식(31)과 같다.

$$r_{k,i} = 2 \sum_{l=1-N}^{N-1} C_{k,i}^2(l) + \sum_{l=1-N}^{N-1} C_{k,i}(l) \cdot C_{k,i}(l+1) \quad (31)$$

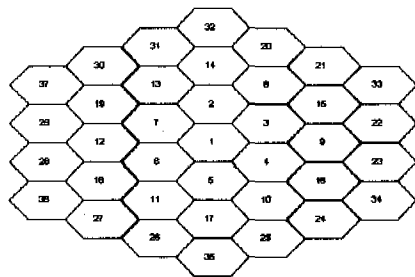


그림 4. 37개 기지국 확산부호 배치도

그림 4는 기준 기지국이 1번이라 할 때 인접셀에 기지국 확산부호를 배치하는 그림이다. 식(31)에서 처럼 평균간섭 파라미터는 비주기 상호상관함수로 표현되기 때문에 인접한 기지국에는 비주기 상호상관 값이 적은 부호를 인접셀에 할당하는 것이 원칙이다. 표 3은 페이딩 환경하에서 길이가 $(2^{11}-1) \times 7$ 인 Kronecker 부호를 기지국에 확산부호로 할당했을 때 비트오류확률을 나타낸 표이다. 인접 기지국에 간섭이 가장 적은 부호를 할당하는 것이 최적(best case)이며 간섭이 가장 큰 부호를 할당하는 것이 가장 나쁜 경우(worst case)이다.

표 3. 페이딩 환경하에서 인접기지국 Kronecker 부호에 따른 비트오류확률

γ_b (dB)	Best Case Kronecker seq.	Worst Case Kronecker seq.
0	0.159145	0.159237
2	0.110732	0.110864
4	0.069257	0.069423
6	0.038321	0.038502
8	0.018615	0.018782
10	0.007973	0.008104
12	0.003065	0.003154
14	0.001088	0.001142
16	0.000370	0.000400
18	0.000126	0.000142
20	0.000044	0.000053

표 3에서 인접 기지국에 상호상관값이 가장 큰 부호와 가장 적은 부호를 배치할 때 기준기지국의 평균 비트오류확률간에 차이가 거의 없으므로 기지국에 Kronecker 확산부호를 랜덤하게 배열하여도 된다. 따라서 매번 기준 확산부호와 상호상관값을 구하여 적은 순서로 확산부호를 인접셀에 배치하는 복잡성이 없으므로 만들기 쉬운 부호집합을 설정하여 랜덤하게 배치하므로써 하드웨어 구현을 간단히 할 수 있다는 장점이 있다.

5-2. 기지국 구분 확산부호 패턴의 재사용

기지국간 동기방식에서는 하나의 PN부호만 이동국이 가지고 있다가 이것을 한 칩씩 시간 지연시켜 가장 강한 기지국 신호와 상관을 통해 자신의 PN부호의 위상이 얼마인가만 알아내면 자신이 속한 기지국을 알아낼 수 있는 반면 비주기 방식에서는 기지국 수만큼의 확산부호를 생성하여 상관을 행하여야만 이동국 자신이 어느 기지국에 속해있는지

를 알 수 있게 된다. 그러므로 기지국에 할당하는 확산부호의 수를 줄이는 것이 동기시간을 줄이는데 필수적이다.

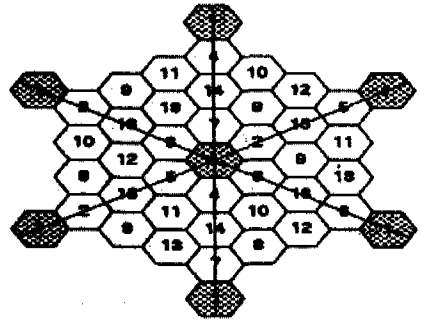


그림 5. 37셀 클러스터에서 16개 기지국 구분 확산부호 재사용 패턴

부호 재사용을 위해서 같은 확산부호끼리는 서로 간섭의 영향이 적도록 충분히 거리를 띄우는 것이 필요하다. 인접 기지국간 거리를 R이라고 할 때 기지국간의 거리가 4R만큼 멀어지게 배치하면 전력전파감쇄에 의한 도달 수신전력은 기준 수신전력 P_0 에 비해 0.0078125 P_0 이고, 거리를 더 띄워서 5R만큼 떨어뜨려 배열하면 기준 기지국에 도달하는 수신전력은 0.003578 P_0 에 불과하므로 자기부호 재사용에 의한 간섭요소는 무시할 수 있다.

실제 시스템에 적용가능하기 위해서는 확산부호 배치시 일정한 규칙을 가져야 하는데 이것을 부호 재사용 패턴이라고 한다. 이 절에서는 기준 기지국과 떨어진 거리에 따라 두 가지 경우의 부호 재사용 패턴을 제시한다.

그림 5는 37개의 셀을 한 클러스터(cluster)로 할 때 배열 순서를 나타내는 그림이다. 기준 기지국 확산부호로 1번째 Kronecker 부호를 사용한다면 별표 모양으로 4R씩 띄워서 1번째 Kronecker 부호를 다시 사용하므로써 확산부호 16개만으로 모든 기지국에 확산부호를 할당할 수 있게 된다.

결과적으로 빠른 초기동기가 가능한 Kronecker 부호를 기지국 구분 부호로 사용하는 기지국간 비동기간 방식에서 37셀로 구성되는 클러스터에서 16개의 확산부호만으로 클러스터 구성이 가능하므로 이동국이 상관을 통해 자신이 속한 기지국을 찾는 동기에 필요한 시간이 크게 줄어 들게 된다.

휴대폰과 같은 이동통신 장비가 대중화되어 널리 쓰이고 있는 이동통신 환경에서 통화량이 많은 지

역은 더 많은 사용자를 수용하기 위해 셀을 더 세분화할 필요가 생긴다. 이처럼 더 작은 셀 즉, 마이크로 셀이 필요한 통신환경에서는 더 많은 기지국 구분 부호집합이 필요하게 된다. 더 많은 기지국 확산부호집합을 수용하기 위해서 61개로 이루어진 광역 클러스터를 고려할 때 1번째 Kronecker 부호를 기준 기지국 확산부호로 사용한다면 별표 모양으로 5R씩 떨어져 1번째 Kronecker 부호를 재 사용하여 셀에 할당한다. 이런 부호 재사용 패턴을 사용하여 전체 클러스터로 확장시키면 확산부호 25개 만으로 모든 기지국에 확산부호를 할당할 수 있게 된다.

이와 같이 Kronecker 부호를 기지국 구분 확산부호로 사용하여 16개의 25개의 기지국 구분 확산부호를 부호 재사용 패턴에 따라 셀에 할당한다면 Kronecker 부호의 빠른 초기특성뿐 아니라 이동국이 고려해야할 기지국수가 줄어들게 되어 동기획득에 걸리는 시간을 더욱 단축할 수 있다.

VI. 결론

Kronecker 부호를 기지국 구분 확산 부호로 사용하는 경우 일반적으로 사용되는 랜덤계열의 부호를 사용하는 경우보다 매우 빠르게 초기동기를 획득할 수 있으며 동기획득에 필요한 자기 상관특성과 간섭정도를 나타내는 상호상관 특성도 우수함을 알 수 있다. 인접기지국에 상호상관이 가장 큰 부호와 상호상관이 가장 작은 부호를 할당하여도 시스템의 성능 차이가 없이 우수하다. 클러스터를 구성하는데 있어서 상호상관 값에 상관없이 인접기지국에 부호를 할당할 수 있으므로 부호할당의 복잡성이 없고 할당된 부호를 일정거리 떨어진 기지국에서 재사용할 수 있다. 따라서 이동국이 초기동기를 획득하는데 필요로 하는 시간을 단축시킬 수 있다.

서비스 반경이 작고 많은 기지국을 필요로 하는 IMT-2000과 같은 차세대 통신 시스템에 성능도 우수하며 빠른 초기동기가 가능한 Kronecker 부호의 적용이 가능하다.

참고 문헌

[1] R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems with Commercial Application*, 3rd edition, New York, NY : Jhon Wiley & Sons, 1994,

[2] K. H. A. Kärkkäinen and P. A. Leppänen, "Performance of an asynchronous DS/SSMA (DS/CDMA) system with Kronecker sequences", *Proc. PIMRC*, pp. 191-197, Sept. 1991.

[3] 조면균, 조현욱, 박상규, 박용완, 최안나, "Kronecker 부호를 이용한 CDMA 시스템", *이동통신 기술 워크숍*, pp.116-121, Jan. 1996

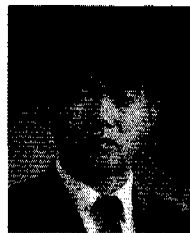
[4] R.L. Pickholtz, D.L. Schilling, and L.B. Milstein, "Theory of Spread-Spectrum Communications-A Tutorial," *IEEE Trans. Commun.* vol. COM-30, pp. 855-884, May 1982.

[5] 조현욱, 조면균, 박상규, 박용완, 최안나, "빠른 초기동기 확산부호를 이용한 셀룰러 DS/CDMA 시스템의 성능", *통신정보활동 학술 대회 논문집*, pp. 401-405, 1996

[6] J. G. Proakis, *Digital Communication*, 3rd edition, McGraw-Hill, 1989.

[7] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple access communication-Part I: System analysis". *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, no. 8, pp. 795-799, Aug. 1977.

조 현 욱(Hyun Wook Cho) 정회원



1987년2월 : 제주대학교 공과 대학 통신공학과(공학사)
 1990년2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공과(공학석사)
 1996년2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정 수료

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, PCS, IMT-2000

박 상 규(Sang Kyu Park) 정회원

1974년2월 : 서울대학교 전기 공학 (공학사)
 1980년5월 : Duke University 통신공학(공학석사)
 1987년5월 : University of Michigan 통신공학(공학박사)
 1976년 7월~1978년 10월 : 국방과학연구소

1990년 8월~1991년 8월 : University of Southern
California 객원교수

1987년 3월~현재 : 한양대학교 공과대학 전자전기
공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론,
PCS, IMT-2000

e-mail:skpark@email.hanyang.ac.kr