

GAS-CP-CDMA 통신 시스템의 상향링크 성능분석

정회원 이 성 민*, 종신회원 김 환 우**

A Uplink Performance Analysis of GAS-CP-CDMA Communication System

Seong-Min Lee* *Regular Member*, Whan-Woo Kim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문을 통해 GAS-CP-CDMA(우수한 자기상관 특성의 시퀀스를 사용하는 순환확장 CDMA) 시스템이 제안되었고 그 시스템의 상향링크의 신호대 잡음비 성능이 분석되었다. 다른 사용자를 구분하기 위해 위상이 편이된 시퀀스가 사용된다. GAS-CP-CDMA 시스템의 신호는 좋은 자기상관 특성 덕분에 동일 셀내의 다른 사용자 신호와 거의 간섭을 일으키지 않는다. 그러나 인접셀의 사용자 신호는 간섭을 일으킨다. CDMA 시스템에서 주파수 재사용율은 0.6 정도이다. 따라서 기존 CDMA 방식에서 인접셀로 부터 유입되는 간섭은 전체 간섭의 40% 정도가 된다. 수치분석은 주파수 재사용율에 대한 신호대 잡음비와, 사용자 수에 따른 신호대 잡음비 성능에 대해 수행되었으며, GAS-CP-CDMA 시스템은 기존 CDMA 시스템보다 우수한 성능을 가지는 것으로 분석되었다. 제안된 시스템의 상향링크 사용자 용량은 기존 CDMA 시스템의 약 2배로 증가됨을 확인하였다.

Key Words : Cyclic Prefix CDMA, Signal-to-noise ratio, Good autocorrelation sequence, Uplink, Capacity, m-sequence, Constant amplitude zero auto-correlation

ABSTRACT

In this paper, we propose a Cyclic-Prefix Code Division Multiple Access system that uses Sequences with Good Autocorrelation property(GAS-CP-CDMA) and analyze the uplink signal-to-noise ratio performance of that system. Phase-shifted sequences are used for differentiating users. The signals of the GAS-CP-CDMA system experience no (or very little) interferences from co-cell signals because of the good autocorrelation property, but user signals of adjacent cells may yield interferences. The frequency reuse factor in the ordinary CDMA system is around 0.6 and the interference from adjacent cells is about 40 percent of the total interference in the conventional CDMA system. Our numerical analysis shows that the frequency reuse factor and user capacity versus signal-to-noise ratio of the GAS-CP-CDMA system are improved comparing to the conventional CDMA system. The uplink user capacity of the proposed system can be increased up to about twice of that of the conventional CDMA system.

I. 서 론

CDMA 이동통신 시스템은 전지역에 동일 주파수 자원을 사용하여 Soft 핸드 오버를 할 수 있으며,

Voice Activity 등의 기능을 사용하여 주파수 자원을 효율적으로 분배하여 사용할 수 있는 장점으로 오래전부터 사용되었다. 기존의 CDMA 이동통신 시스템은 간섭신호에 의해 성능의 제한을 받게 된다.

* 국방과학연구소 선임연구원(sunrise@add.re.kr), ** 충남대학교 전기전자공학부 교수(wwkim@cnu.ac.kr)
 논문번호 : KICS2008-08-373, 접수일자 : 2008년 8월 28일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 6일

사용자 신호의 간섭을 억제하기 위해 다중 사용자 검출 기술이 사용자 간섭을 줄일 수 있을 것으로 기대되었고 구현 복잡도를 줄이는 기술이 소개되기는 하나 여전히 구현의 복잡도가 높은 편이다.

기존의 Cyclic-Prefix CDMA 통신방식은 이동통신시스템에서 하향링크에 적용하여 이동단말의 수신기 복잡도를 낮추고자 제안되었다^[1]. 이 CP-CDMA 방식이 SC-FDE (Single Carrier Frequency Domain Equalizer) 시스템에서 IBI(Inter Block Interference)를 상쇄할 수 있음이 확인된 후^[2], 이 방식은 다중 사용자 검출을 쉽게 하여 시스템 용량을 늘이기 위해 상향링크에 적용되었다. 상향 링크에 적용된 CP-CDMA 방식을 이용한 다른 사용자 간섭 제거 기술은 SIC (Successive Interference Cancellation) 방법과 PIC (Parallel Interference Cancellation), PPIC (Partial Parallel Interference Cancellation) 그리고 SPIC (Selective Parallel Interference Cancellation)의 방법으로 다른 사용자 간섭을 제거하는 기술이 소개되었다^[3-4].

본 논문에서는 기존의 CP-CDMA와는 다른 이동통신 시스템의 상향링크에서 좋은 자기상관 시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA(Cyclic-Prefix CDMA using Good-Autocorrelation-Sequence)를 사용하여, 동일 셀 내에서 사용자들의 신호에 의한 상호 간섭을 사용자 검출 기술을 사용하지 않고, 원천적으로 현저히 줄이는 방법을 제안하였다. 제안된 GAS-CP-CDMA 시스템이 동일셀의 사용자 상호 간섭을 줄이기 위해서 단말의 심벌 및 시퀀스는 동기가 맞아 하며, 심벌 구간 내에는 자기 상관특성이 우수한 시퀀스 1주기가 사용되어야 한다.

무선 신호의 경로 손실은 무선통신에서 어쩔 수 없는 것이기는 하나 다행히도 다른 셀에서 발생하는 간섭 신호를 줄여주는 효과가 있어 주파수 자원을 이격된 지역에서 재사용할 수 있게 해준다. 주파수 재사용하면 인접 셀에서 유입되는 간섭을 겪는 것은 불가피 하다. CDMA 시스템의 간섭은 자신의 셀에서 발생하는 간섭과 인접 셀에서 발생하는 간섭이 있다. 인접 셀에서 발생하는 간섭은 전파 경로 손실과 밀접한 관계가 있다.

본 논문에서 제안한 CP-CDMA 시스템의 성능을 분석하기 위해서, 먼저 전파 경로손실과 주파수 재사용율의 관계로부터 인접 셀에서 유입되는 간섭을 유추하고, 기존의 CDMA 시스템과 제안한 CP-CDMA 시스템의 성능을 신호 대 잡음비를 사용하여 비교 분석하고자 한다.

II. 경로손실과 CDMA 시스템의 주파수 재사용율

단말 간 전력제어가 완전한 경우, 기지국으로부터 가장 가까운 단말까지의 거리를 α , 전파감쇄상수 (Path Loss Exponent), 기지국으로부터 이격거리 $r[m]$ ($r > \alpha$)라고 할 때, r 지점에서의 송신전력 $P(r)$ 은 다음으로 나타낼 수 있다^[5].

$$P(r)_{dB} = P(\alpha)_{dB} + 10 \log \left(\frac{r}{\alpha} \right)^\gamma \quad (1)$$

전파 감쇄 상수(γ)는 자유공간의 경우 2이며, 지표면상에서 2-4 사이의 값을 갖는다.

주파수 재사용율은 기존의 셀 형태의 FDMA 방식에서는 7개의 육각형 셀마다 주파수를 재사용하거나 19개의 셀마다 주파수를 재사용하여 주파수 재사용율이 1/7 혹은 1/19이 된다. CDMA 이동통신 시스템은 전지역에 동일 주파수 자원을 사용하므로 FDMA와 같이 주파수 재사용율을 정하지 않고 한 기지국에서 수신되는 전체 간섭신호에 대한 자기셀에 해당하는 간섭신호의 비율로 정해진다. 주파수 재사용율을 f 라 하면,

$$f = \frac{I_{sc}}{I_{sc} + I_{oc}} \quad (2)$$

으로 표현될 수 있다^[6-9]. 여기서 I_{sc} 는 자신의 셀에서 발생하는 간섭 잡음 에너지의 합이며, I_{oc} 는 다른 셀에서 발생하는 간섭 잡음 에너지의 합이다. 모든 사용자 단말의 전력이 기지국을 기준으로 완전히 제어되고, 링 형태로 주변 셀이 배치되는 육각형 셀 구조를 고려하고, 전파 감쇄상수 값이 3-4 이 될 때 주파수 재사용율 값은 0.6 부근의 값이 된다^[6-9].

표 1에서 주파수 재사용율은 셀 반경보다는 전파 감쇄 상수에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 주파수 재사용율이 60%인 것을 기준으로 성능을 분석한다.

표 1. 주파수 재사용율의 예(최소이격거리=50m)^[6]

셀반경 r (km)	감쇄상수 γ	주파수 재사용율 f
2.0	2	0.425
2.0	3	0.558
2.0	4	0.646
10.0	2	0.419
10.0	3	0.550
10.0	4	0.634

III. CP-CDMA, GAS-CP-CDMA 통신시스템

보호구간을 사용하는 개념은 기존의 OFDM에서 사용하는 개념이며, 보호구간 심벌의 기능은 심벌 간 간섭 및 부 반송파 간 간섭을 예방하는 것이다. 기존 CP-CDMA 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

본 논문에서 제안한 GAS-CP-CDMA 시스템에서의 보호구간 신호는 자신의 신호의 지연된 간섭 신호 또는 동일한 셀 내의 다른 사용자의 간섭신호를 극도로 억제하거나 원천적으로 완전히 제거하기 위해 사용된다^[10-13].

GAS-CP-CDMA 시스템의 송신심벌은 OFDM과 유사하게 보호구간과 적분구간의 조합이다. 적분구간은 송신 심벌에 확산 시퀀스를 곱한 확산 신호가 존재하는 구간이며, 적분구간에는 자기상관특성이 좋은 완전한 1주기의 확산 시퀀스가 사용된다. 보호구간 심벌은 적분구간 확산 심벌의 뒤쪽 일부를 복사하여 만들어지고 적분구간의 앞쪽에 삽입된다.

그림 2에 GAS-CP-CDMA 송신 심벌의 구성을 나타내었다. 그림 3에는 주기 15의 m-시퀀스의 예와 그 시퀀스에 보호구간을 덧붙여 보호구간을 추가한 GAS(Good Autocorrelation Sequence) 시퀀스를 생성하는 개념을 보여준다.

다른 사용자의 시퀀스는 그림 3 '가'의 m-시퀀스를 몇 칩 지연시켜 지연된 m-시퀀스를 만든 후, 다시 뒤쪽 몇 칩을 복사하여 앞쪽에 붙여 생성한다.

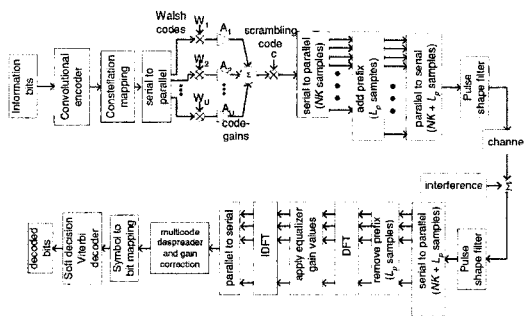


그림 1. 기존 CP-CDMA 송수신 구조도^[11]

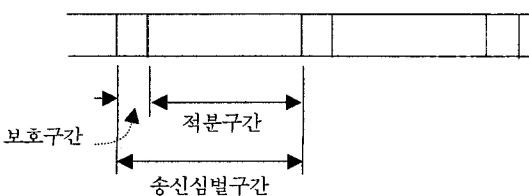
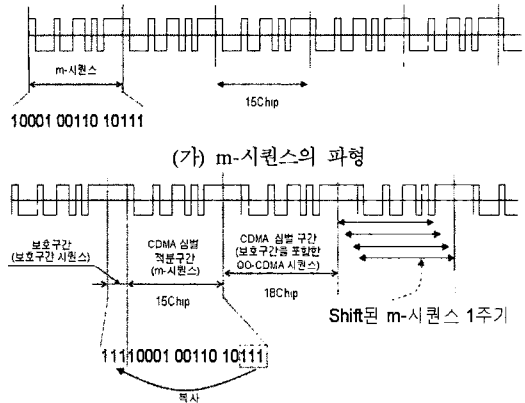


그림 2. GAS-CP-CDMA의 송신 심벌의 구성



(가) m-시퀀스의 파형
(나) 보호구간이 추가된 m-시퀀스의 파형
그림 3. m-시퀀스와 보호구간이 추가된 m-시퀀스

그림 4에 GAS-CP-CDMA 시스템의 송수신 구성도를 간략히 나타내었다. 그림 5에 두 사용자의 확산 신호 생성과정을 나타낸다. 첫 번째 사용자의 신호(1번째 파형)은 첫 번째 사용자의 확산 시퀀스와 곱해서 확산신호(3번째 파형)을 만들어낸다. 두 번째 사용자의 확산시퀀스(5번째 파형)는 첫 번째 사용자 확산 시퀀스(2번째 파형) 중 m-시퀀스 부분을 5칩 shift한 m-시퀀스와 그 시퀀스의 끝부분 3칩을 적분구간 앞쪽에 복사 삽입하여 생성한다.

첫 번째 사용자의 확산신호(3)와 두 번째 사용자

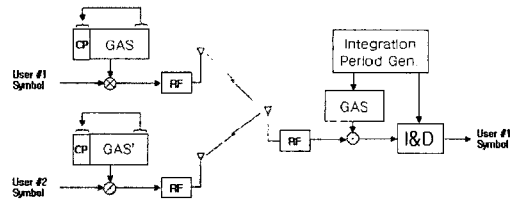


그림 4. GAS-CP-CDMA 송수신 구조도

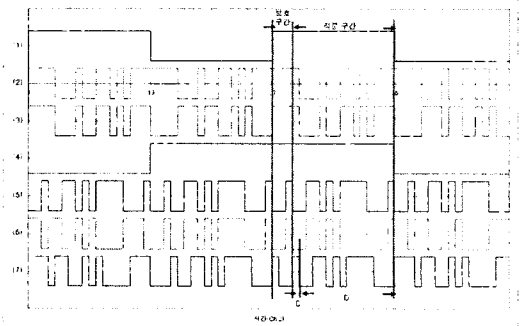


그림 5. m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템의 두 사용자의 확산 신호 생성

의 확산신호(6)를 적분구간에 대해 고려해 보면 두 신호 모두 완전한 m-시퀀스 1주기가 된다. 두 번째 사용자 신호가 1칩 지연(7)되더라도 이러한 사실은 변함이 없다. 모든 사용자의 신호와 3칩 이내 지연된 신호는 모두 m-시퀀스의 자기상관특성에 의한 미미한 간섭신호로 작용하게 된다. 적분구간에서 볼 때 모든 사용자 확산신호는 m-시퀀스 1주기가 된다. 따라서 사용자 상호 간섭 신호는 m-시퀀스의 자기상관특성 값이 된다.

GAS-CP-CDMA 시스템용 확산 시퀀스는 자기상관특성이 우수한 것을 사용하는데, 자기상관특성이 우수한 또 다른 시퀀스로 CAZAC (Constant Amplitude Zero Auto-Correlation) 시퀀스가 있다 (14). CAZAC 시퀀스는 다음과 같은 행렬이 있다고 할 때 행렬의 값을 아래쪽 방향으로 왼쪽에서 오른쪽으로 읽어 나열하여 발생시킬 수 있다.

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & \xi_1 & \xi_1^2 & \dots & \xi_1^{p-1} \\ 1 & \xi_2 & \xi_2^2 & \dots & \xi_2^{p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & \xi_{p-1} & \xi_{p-1}^2 & \dots & \xi_{p-1}^{p-1} \end{matrix} \quad (3)$$

즉 식 (3)의 행렬에서 값을 위에서 아래로, 왼쪽에서 오른쪽으로 하나씩 읽어 나열함으로써, 시퀀스를 생성한다.

$$\begin{matrix} 1, 1, 1, \dots, 1, 1, \xi_1, \xi_1^2, \dots, \xi_{p-1}^{p-1}, \\ 1, \xi_1^2, \xi_1^4, \dots, \xi_{p-1}^{2(p-1)}, \dots, 1, \xi_1^{-1}, \xi_1^{-2}, \dots, \xi_{p-1}^{-1} \end{matrix} \quad (4)$$

식 (4)의 CAZAC 시퀀스는 그림 2의 적분구간에 해당하는 시퀀스이며, 마찬가지로 방법으로 뒤쪽의 몇 칩을 복사하여 앞쪽에 붙여 넣어 생성하며, 다른 사용자용 확산 시퀀스도 식 4로 나열된 시퀀스를 몇 칩 지연시켜 만들 시퀀스에 그 시퀀스의 뒤쪽 몇 칩을 복사하여 앞쪽에 붙여 넣어 생성한다. CAZAC 시퀀스는 자기상관특성이 우수하다. 위상이 일치할 때 정규화 값은 1이며, 나머지 구간에서는 0이다. CAZAC 시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템에서 보호구간 내에 들어오는 모든 사용자의 신호와 지연된 신호는 모두 직교하여 간섭이 완전히 사라진다.

IV. GAS-CP-CDMA 시스템의 상향링크 성능분석

GAS-CP-CDMA 시스템은 동기화가 가능한 동일 셀 내의 사용자 신호는 더 이상 간섭신호로 작용하지 않도록 하는 것이 목적이다. GAS-CP-CDMA

시스템에서 사용할 수 있는 확산 코드는 m-시퀀스, CAZAC 시퀀스 등이 사용될 수 있으며, 자신의 셀에 배치할 사용자들용 시퀀스와 인접 셀에 배치할 사용자들용 필요한 시퀀스 수를 고려할 때 인접 셀에는 자신의 셀에 배치한 시퀀스의 위상을 편이한 시퀀스를 배치하기는 현실적으로 곤란하다. 따라서 인접한 셀에는 같은 주기를 갖으나 자신의 셀과는 직접적인 연관성은 없는 시퀀스를 생성하는 것으로 가정한다. 예를 들어 주기가 63인 경우, 자신의 셀에서 사용하는 시퀀스 발생 다항식 $P_1=x^6+x+1$ 인 경우, 인접 셀에서 사용하는 시퀀스 발생 다항식은 $P_2=x^6+x^4+x^2+x+1$ 이 된다. 또한 CAZAC 시퀀스를 사용하는 경우에도 자신의 셀에서 사용한 식 4의 기본 시퀀스를 행 단위로 적절히 인터리빙한 시퀀스를 사용할 수 있다.

기존의 CDMA 시스템에서 신호 대 잡음비 성능은

$$\left[\frac{E_b}{N_o} \right]_L = \frac{E_b}{N_{th} + I_{sc} + I_{oc}} \quad (5)$$

으로 표현될 수 있다. 여기서 N_{th} 은 열잡음 밀도이다. 주파수 재사용율(f)을 사용하면 주변 셀에서 발생한 간섭 에너지를 자신의 셀에서 발생한 간섭 에너지로 표현할 수 있다. 신호 대 잡음비 성능은

$$\left[\frac{E_b}{N_o} \right]_L = \frac{E_b}{N_{th} + I_{sc} + I_{sc}(\frac{1}{f} - 1)} = \frac{E_b}{N_{th} + \frac{I_{sc}}{f}} \quad (6)$$

로 표현될 수 있다. 여기서 자신의 셀에서 발생하는 간섭 I_{sc} 는

$$I_{sc} = \frac{E_b(k-1)}{P.G} \quad (7)$$

로 표현된다. P.G는 처리이득(Processing Gain)이고 k는 사용자 수이다.

그림 6는 7단 레지스터를 사용한 m-시퀀스와 그 시퀀스의 일부 16 칩에 의한 자기상관 특성을 나타낸다. 기존 CDMA 시스템의 수신과정은 부분 시퀀스에 의한 자기상관특성 중 한 값을 구하는 과정과 유사하다. 원하는 사용자의 자기상관값은 1의 값이 되며, 다른 사용자와 상호상관값은 시퀀스 동기가 맞지 않은 위상에서의 자기상관 값이 된다. 처리이득이 16인 경우를 예로 든다. 다른 사용자의 간섭 신호 에너지를 알기 위해, 정규화 최대값 1을 제외한 나머지 자기상관값의 실효평균을 구하면 0.25가 된다. 즉, 다른 1 사용자 신호를 적분했을 때 기대되는 실효평균 전압이 0.25가 된다는 것을 알 수 있다. 다시 적분전압의 제곱을 취하여 1 사용자의

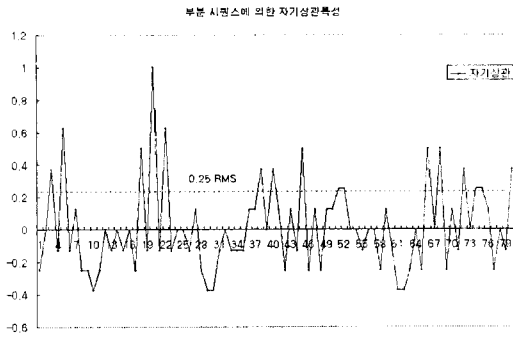


그림 6. 부분 시퀀스에 의한 자기상관특성 예

간섭 에너지를 취하면 $1/4^2(=1/16)$ 이 된다. 즉, 처리 이득(16)의 역수가 정규화 한 1 사용자의 간섭 에너지가 된다.

m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA의 경우 신호 대 잡음 성능은

$$\left[\frac{E_b}{N_0} \right]_m = \frac{E_b'}{N_{th} + I_{sc\ m} + I_{oc\ -m}} \quad (8)$$

$$= \frac{E_b'}{N_{th} + I'_{sc} \left(\frac{1}{P.G} + \beta \right) + I'_{sc} \left(\frac{1}{f} - 1 \right)}$$

이다. 여기서 E_b' 는 송신 구간에 의한 E_b 에너지가 아닌, 보호구간 삽입에 의한 overhead를 제외한 적분구간에 의한 1비트 에너지이고 I'_{sc} 는 송신 구간에 의한 간섭에너지가 아닌, 적분구간에 대한 간섭 에너지이다. 식 8의 $1/P.G$ 의 항은 보호구간 이내의 지연된 신호에 대해 m-시퀀스의 자기상관특성에 따른 적분 값에 의해 발생할 수 있는 간섭 에너지의 비율($1/P.G$)이다.

완전한 m-시퀀스 1주기를 사용하여 자기상관특성을 구하면 그림 7과 같이 최대값 1과 처리이득의 역수가 된다. m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템에서 다른 사용자의 간섭신호는 m-시퀀스의 자기상관특성으로부터 위상이 일치하지 않는 한 점의 값을 구하는 것과 같다. 다른 1 사용자의 간섭신호의 적분전압은 $1/P.G$ 이며, 간섭에너지는 $1/P.G^2$ 이 된다. 보호구간 이내로 지연된 다른 사용자에게 의한 간섭 신호 $I_{sc\ m\ in}$ 는

$$I_{sc\ m\ in} = \frac{E_b'(k-1)}{P.G^2} = \frac{I'_{sc'}}{P.G} \quad (9)$$

이 된다. 식 8의 β 는 보호구간 이탈율이다. 보호구간 길이를 충분히 길게 하지 않은 경우 과도하게

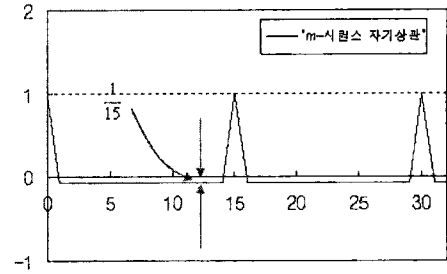


그림 7. m-시퀀스의 자기상관특성

지연된 신호는 보호구간을 벗어나 이전의 심벌 일부와 현재 심벌과 겹칠 수 있다. 이렇게 심벌 간 간섭(Inter Symbol Interference)이 발생할 때, β 는 1 사용자의 전체 에너지에 대한 ISI 간섭에너지의 비율이다. $I_{oc\ -m}$ 는 식 (8)의 다른 셀에서 발생하는 간섭 에너지이며, 제안한 CDMA 시스템에서도 줄일 수 없는 간섭 에너지이다.

전달 지연이 발생하는 예를 들어본다. RMS delay spread를 S라 할 때 지수적으로 감소하는 전달함수($h(t)$),

$$h(t) = \begin{cases} e^{-t/S} & \text{for } 0 \leq t \leq t_{max} \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (10)$$

으로 표현될 수 있다. 통상 OFDM 시스템에서 보호구간은 RMS delay spread의 2배~4배로 설정하는 것이 일반적이다. 여기서는 RMS delay spread의 2배를 보호구간으로 설정하였다.

그림 8에서 0~2S 시간 동안의 응답 신호는 보호구간 내에 포함되는 신호이고 2S 이후의 신호는 보호구간에 포함되지 않는 신호이다. 이 응답 특성을 갖는 전달 지연의 제곱 함수의 전체 적분 면적에 대한 2S 이후의 적분 면적의 비율, 즉 보호구간 이탈율(β)는 e^{-4} (약 0.018)이다. 즉, 약 2% 정도의 에너지는 보호구간을 지나서 적분구간에 유입되며 이 에너지는 심벌 간 간섭을 일으키는 신호로, 확산 시퀀스의 자기상관특성이 아닌 기존의 CDMA와 같은 간섭을 일으킨다. 다만 그 비율이 상당히 작고

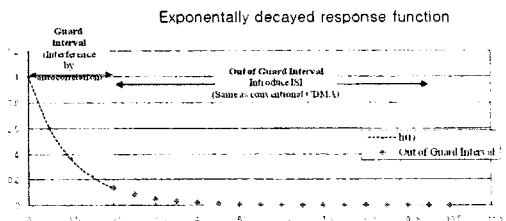


그림 8. 지수적으로 감소하는 지연전달함수 예

식 7과 같이 처리이득의 역수배로 줄어들게 되므로 영향은 크지 않다.

본 논문의 분석에서는 편의상 모든 단말의 보호구간 이탈율이 동일하다고 가정한다. 그리고 자신의 셀과 인접 셀과는 동기를 맞추지 않는다고 가정한다. 인접 셀에서 발생하는 간섭에너지는 기존의 CDMA 방식과 동일하다.

GAS-CP-CDMA 시스템에서 CAZAC 시퀀스를 사용하는 경우 신호 대 잡음비는

$$\left[\frac{E_b}{N_o} \right]_c = \frac{E'_b}{N_{th} + I_{sc-c} + I_{oc-c}} \quad (11)$$

$$= \frac{E'_b}{N_{th} + I_{sc}'\beta + I_{sc}'\left(\frac{1}{f} - 1\right)}$$

로 나타낼 수 있는데, CAZAC 시퀀스의 자기상관특성이 그림 9에서 보이는 것과 같이 위상이 1칩 이상 벗어난 경우 0이 되고, 보호구간 내에 들어오는 간섭신호는 원하는 수신신호와 완전히 구분되기 때문에, 식 8의 $1/P.G$ 항은 0이 된다.

부분적으로 볼 때 자기상관특성이 좀 더 우수한 CAZAC 시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템이 m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템보다 약간 더 우수한 성능을 갖는다. 그러나 전력제어가 충실하고 처리이득이 상용 이동통신 CDMA 시스템과 유사한 20 dB 이상인 경우에는 실용적인 면에서 볼 때 커다란 차이는 없을 것이다.

식 6-11의 결과를 이용하여 3가지 방식의 신호대 잡음 성능을 비교해 보았다. 그림 10은 처리이득의 값으로 127 (=27-1, 기존 CDMA, m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA), 또는 유사한 값인 121 (=112, CAZAC 시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA)이 사용되었다. 사용자 수는 10명, $E_b/N_{th} = 20$, 보호구간 이탈율 $\beta = 0.02$ 인 경우, 주파수 재사용율(f)이 0.4~0.7 일 때, 인접 셀의 영향을 포함

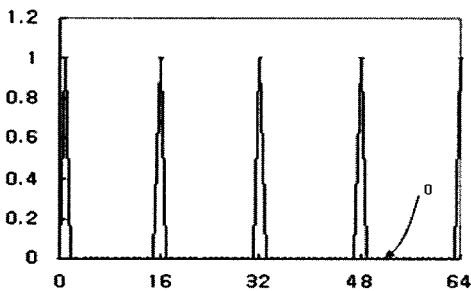


그림 9. CAZAC 시퀀스의 자기상관특성

한 E_b/N_o 성능에 대해 기존 CDMA 시스템, m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템, CAZAC 시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템을 각각 비교한 결과이다.

주파수 재사용 0.6 일 때 E_b/N_o 값은, 기존 CDMA 방식은 7.74 dB, 제안의 CDMA 방식은 m-시퀀스를 사용하였을 때와 CAZAC 시퀀스를 사용하였을 때 9.95 dB로 기존의 CDMA 방식보다 약 2.2 dB 정도 성능 향상이 있었다. 주파수 재사용율이 나쁜 0.4의 경우에도 제안의 GAS-CP-CDMA 방식은 기존의 CDMA 방식 보다 신호 대 잡음 성능이 유리하였다.

그림 11에 사용자 수 증가에 따른 신호 대 잡음비 성능을 비교하여 나타내었다. 주파수 재사용율은 0.6, 보호구간 이탈율은 0.02, $E_b/N_{th} = 20$ 을 기준으로 하였다. 기존 CDMA 시스템에서 5명일 때의 E_b/N_o 성능은 약 9.89 dB 이며, 제안의 GAS-CP-CDMA 방식은 10명일 때 유사한 성능을 갖게 되는 것을 알 수 있다. GAS-CP-CDMA 방식과 기존의 CDMA 방식의 신호 대 잡음 성능을 비교해 보면, 대략 제안의 방식은 기존의 CDMA 방식에 비

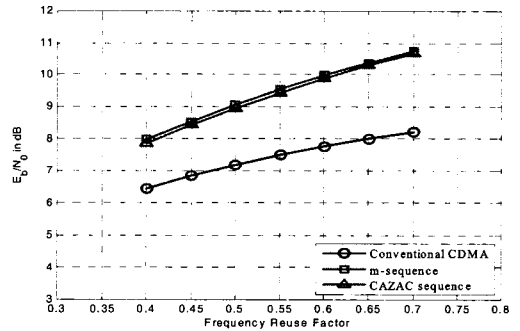


그림 10. 주파수 재사용율에 따른 신호대 잡음 성능

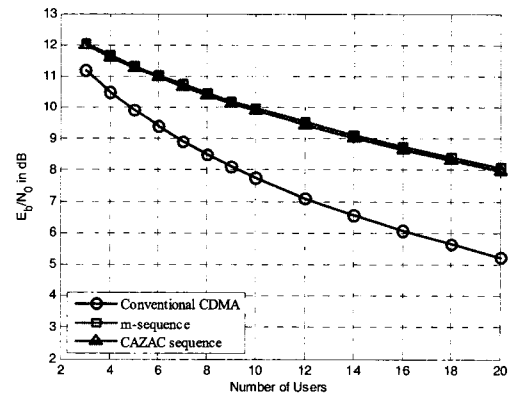


그림 11. 사용자 수에 따른 신호대 잡음 성능 비교

해 2배 정도의 사용자를 허용한다는 것을 알 수 있다. 따라서 제안의 GAS-CP-CDMA 시스템은 기존의 CDMA 시스템보다 사용자 용량을 2배로 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그래프를 자세히 관찰하면 m-시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템이 CAZAC 시퀀스를 사용하는 GAS-CP-CDMA 시스템보다 E_b/N_0 성능이 약간 높은 것으로 나타나는데, 이는 m-시퀀스의 처리이득(주기)을 127로 하고, CAZAC 시퀀스의 처리이득을 121로 하여 처리 이득면에서 m-시퀀스 쪽을 약간 유리하게 하였기 때문으로 판단된다.

본 논문에서 섹터로 셀을 분할하거나 음성 통화 시 활성화율 등 시스템 용량을 늘이기 위한 여러 가지 노력은 적용하지 않았으나, 그러한 노력으로 성능 향상 효과는 기존방식과 제안한 방식에 유사하게 적용될 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 논문을 통해 이동통신시스템의 상향링크에 적용할 GAS-CP-CDMA 시스템이 제안되었고, 제안된 시스템과 기존 CDMA 시스템의 성능이 신호 대 잡음비를 추정함으로써 비교되었다. 기존 CP-CDMA 시스템은 다중사용자 검출을 통해 시스템 성능과 용량을 쉽게 향상시키는 방식이기는 하나, 여전히 복잡한 구조가 필요하였다. 제안한 GAS-CP-CDMA 시스템은 다중 경로 환경에서 자신의 셀에서 발생하는 사용자 상호 간섭을 원천적으로 제한하는 방법이며, 단지 수신신호에 GAS 시퀀스를 곱함으로써 동일 셀의 다른 사용자 간섭신호를 상쇄하고 원하는 사용자 신호를 추출하는, 매우 단순한 구조를 갖는다. 인접 셀에서 유입되는 간섭 잡음은 기존의 CDMA 시스템과 제안한 시스템이 동일하다. 전파감쇄상수가 3~4일 때 주파수 재사용율은 0.6 정도가 되어, 인접 셀에서 유입되는 간섭 에너지는 전체 간섭 에너지의 40 % 정도가 된다. 처리이득 121~127을 사용하고 주파수 재사용율이 0.6일 경우 제안한 GAS-CP-CDMA 시스템은 기존 CDMA 방식에 비해 약 2배의 사용자가 사용할 때 유사한 신호 대 잡음비 성능을 갖는다. 따라서 제안된 시스템은 기존의 시스템에 비해 2배의 용량을 향상시킬 수 있다.

제안한 GAS-CP-CDMA 시스템은 동일 셀 내의 사용자 상호 간섭을 현저히 줄이는 특징을 갖고 있다. 따라서 기존 CDMA 시스템에 비해 사용자간

전력 제어를 둔감하게 하더라도 성능 저하가 적은 것으로 예상된다. 반면 기존 CDMA 시스템은 사용자간 정교한 전력제어 여부에 따라 시스템 성능이 큰 영향을 받는다. 이번 연구에서는 사용자 단말 간 완전한 전력제어를 가정하였으나, 향후에 단말 간 느슨하게 전력 제어하는 경우에 대한 성능 비교 연구를 고려하고 있으며 흥미로운 결과가 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] K. L. Baum, T. A. Thomas, F. W. Vook, and V. Nangja, "Cyclic Prefix CDMA: An Improved Transmission Method for Broadband DS-CDMA Cellular Systems," Conf. in WCNC2002, Vol.1, pp.183-188, Mar. 2002.
- [2] D. Falconer, "Frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems," IEEE Communication Magazine, Vol.40, No.4, pp.58-66, April 2002.
- [3] D.Divsalar, M.K Simon, D. Raphaeli, "Improved parallel interference cancellation for CDMA," IEEE Transactions on Communications, Vol.46, No.2, pp.258-268, Feb. 1998
- [4] Kan Zheng, Wenbo Wang, Guillaume Decarreau, "Selective Parallel Interference Cancellation for Uplink Cyclic-Prefix CDMA", IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005.
- [5] S. Y. Seidel, T. S. Rappaport, S. Jain, M.L. Load, and R. Singh, "Path loss, scattering, and multipath delay statistics in four European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.40, pp.721-731, Nov. 1991.
- [6] Theodore S. Rappaport and Laurence B. Milstein, "Effect of Radio Propagation Path Loss on DS-CDMA Cellular Frequency Reuse Efficiency for the reverse Channel" IEEE Transaction on Vehicular Technology. Vol.41. No.3. pp.231-242.
- [7] 전성현, 홍대형 "CDMA 무선가입자회선망의 주파수 재사용 효율 분석" 한국통신학회 학술대회 (통신정보합동) 제8권 1998.1.
- [8] Andrew J. Viterbi, Audrey M. Viterbi, and

- Ephraim Zehavi, "Other -Cell Interference in Cellular Power controlled CDMA," IEEE Trans. on Communications, Vol.42. pp.1501-1504, Feb/Mar/Apr. 1994.
- [9] K. S. Gilhousen et al, "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans, Veh. Technol., Vol.40. pp.303-312, May 1990.
- [10] 이성민, 백해현, 김정섭, 김환우, 국내특허 10-0743888, "보호구간 시퀀스를 추가한 준직교 코드분할 다중접근 통신방식 및 시스템," 2007. 7., 국방과학연구소
- [11] 이성민, 김환우 "보호구간 시퀀스를 사용하는 CDMA 통신시스템," 2006. 11., 한국통신학회 추계종합학술대회.
- [12] 이성민, 김환우, 김영제, 국내특허 10-0867356 "보호구간 시퀀스가 추가한 CAZAC 코드분할 다중접근 통신방식", 2008.10.31., 충남대학교
- [13] 이성민, 김환우, 김영제, "보호구간 시퀀스가 추가된 CAZAC CDMA 통신방식 연구," 2007. 8., 군사과학기술학회 종합학술대회.
- [14] R.C. Heimiller, "Phase shift pulse codes with good periodic correlation properties," IRE Trans.. on Inform. Theory, Vol.7, Issue 4, Oct. 1961.

이 성 민 (Seong-Min Lee)

정회원



1986년 2월 중앙대학교 전기공학
학과 졸업
2002년 2월 충남대학교 전자공
학과 석사
2005년 3월~현재 충남대학교
전자공학과 박사과정
1989년~현재 국방과학연구소 재직
<관심분야> 통신공학, 유무선 모뎀, 다중 접근 기
술, 동기 알고리즘

김 환 우 (Whan-Woo Kim)

종신회원



1977년 2월 서울대학교 전자공
학과 졸업
1979년 2월 한국과학기술원 전
자공학과 석사
1988년 8월 Univ. of Utah 전
자공학과 박사
1980년~현재 충남대학교 교수
2007년~현재 대한전자공학회 대전충남지부 지부장
<관심분야> 신호처리, 디지털 통신, 무선 통신