

논문 2011-48TC-6-4

직접대역확산 시스템에서 프리덤프 상관 에너지를 사용하는 PN코드 획득 기술

(PN Code Acquisition Technique using A Pre-Dump Correlation
Energy in DS-SS Systems)

염수남*, 이성주**

(Soonam Yeom and Seongjoo Lee)

요약

본 논문은 직접 대역 확산(Direct sequence spread spectrum : DS-SS) 시스템에서 적응형 임계값을 적용하여 초기 동기 성능을 향상 시키는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 탐색 모드(search mode) 이전에 프리덤프 모드(pre-dump mode)를 추가하고, 상관 에너지를 이용해 탐색 모드와 확인 모드(verification mode)의 임계값을 결정한다. 이를 통해 확인 모드뿐만 아니라 탐색 모드에서까지 거부 성능(rejection performance)을 향상시킬 수 있다. 제안된 방법은 기존 기술과 비교할 때 하드웨어 증가 없이 평균 코드 획득 시간(mean code acquisition time)을 약 40% 단축시킬 수 있다.

Abstract

This paper presents an efficient technique to reduce PN code acquisition time considerably by adjusting threshold values in direct sequence spread spectrum (DS-SS) systems. The proposed algorithm employs a pre-dump mode prior to a search mode, and the pre-dump mode determines threshold values of both search and verification modes depending on its correlation energy, which can improve not only the rejection performance of false code phases in the search mode but also that in the verification mode. The proposed method can reduce the mean code acquisition time by about 40% without increase of hardware costs compared with the conventional technique.

Keywords : Direct sequence spread spectrum (DS-SS), the pre-dump mode, mean code acquisition time, hardware costs

I. 서론

직접 대역 확산 시스템은 다중 사용자 방해를 감소시킴으로써 사용자 용량을 증가시킬 수 있고, 다중 경로 신호 에너지들이 더해지기 때문에 수신단에서 SNR (Signal to noise ratio)을 증진시킬 수 있다. 그리고

PN(pseudo-node)코드를 이용해 확산되기 때문에 간섭으로부터 방해를 예방할 수 있다^[1]. 이와 같은 장점들 때문에, 직접 대역 확산 기술은 IS-95 CDMA(code division multiple access) 시스템, 3GPP(3rd generation partnership project)와 3GPP2 시스템 등 많은 이동 통신 방식에서 채택되고 있다.

PN 코드 획득은 직접 대역 확산 시스템의 동기 과정에서 중요하다. 일반적으로 동기 획득 시스템에서는 이상적인 임계값을 구하는 것이 가장 중요하고, 임계값은 채널 환경과 수신된 PN 코드의 SNR에 의존적이다. 수신단에서는 SNR에 대한 정보를 얻지 못하기 때문에, SNR의 변화에 능동적으로 대처하지 못한다. 그렇

* 학생회원, ** 평생회원-교신저자, 세종대학교 정보통신공학과, uT 통신연구소
(Sejong University)

※ 본 논문은 서울시 산학연 협력사업(과제번호: SS100009)과 한국연구재단 신진연구지원사업(연구비지원: 2011-0005616)의 지원에 의해 수행되었으며, 검증을 위한 CAD 툴은 IDEC의 지원을 받았다.
접수일자: 2011년4월8일, 수정완료일: 2011년5월26일

기 때문에 Neyman-Pearson 실험 방법에 따라 특정 SNR에서 얻어진 임계값으로 고정하고, 전체 SNR에 그대로 적용해야 한다^[2~3]. 많은 알고리즘은 고정된 하나의 임계값을 사용하는 대신에 적응형 임계값을 사용하는 방식을 제안했다^[4~7]. [4]는 오보확률을 일정하게 함으로써 동기획득 성능을 개선시키는 알고리즘으로 높은 SNR에서는 성능이 우수한 장점을 가지나, 낮은 SNR에서는 성능이 급격하게 떨어지는 문제점이 있다. [5]는 SNR에 따라서 임계치를 고정하지 않아, 성능면에서 우수한 장점을 가지지만, 적응적으로 임계치를 계산하기 위해 추가적인 필터를 사용해야 하기 때문에, 하드웨어적인 부담이 증가하는 단점이 있다. [6]은 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 시스템에서 동기를 수행하기 위한 방법을 제안하였고, [7]은 비동기 CDMA 시스템을 목표로 개발되었기 때문에, 동기식 CDMA 시스템에 적용하는데 문제가 있다. 앞에서 제시하는 대부분의 알고리즘은 추가적인 필터와 상관기로 인해 하드웨어 비용이 증가되기 때문에 향상된 동기 획득 성능의 효과가 파워 소비 측면에서 반감되는 단점을 갖고 있다. 하드웨어 증가 없이 성능 감쇠를 해결하기 위해서, 여러 개의 임계값을 사용하여 수신되는 에너지 크기에 따라 임계값을 다르게 적용하는 다중 레벨 임계값 방식이 제안되었다^[1]. 다중 임계 기술은 하나의 임계값을 사용한 방식과 비교해 평균 코드 획득 시간을 약 0.2-0.7초 단축시켰지만, 이 방식은 오

직 확인 모드에서만 오류 코드 위상(false code phase) 거부 성능이 향상되기 때문에 전체 적인 성능의 향상이 제한적이다.

그러므로 본 논문은 하드웨어 증가 없이 기존 기술들이 갖고 있던 문제점을 해결하고 평균 코드 획득 시간을 획기적으로 단축할 수 있는 효율적인 알고리즘을 제안한다. 기존 알고리즘과 달리 탐색 모드 이전에 프리덱프 모드를 두어 상관 에너지를 통해 확인 모드뿐만 아니라 탐색 모드의 임계값을 생성한다. 확인 모드에서만 성능 향상이 있었던 다중 레벨 임계 기술과 달리, 제안된 기술은 확인 모드뿐만 아니라 탐색 모드에서도 오류 코드의 거부 성능이 증진되기 때문에 현저하게 평균 코드 획득 시간을 단축 할 수 있다.

II. 제안된 프리덱프 알고리즘

제안된 기술은 기존 기술의 탐색(S)모드와 확인(V)모드에서 프리덱프(P)모드를 추가한다. 그림 1은 이중적분 코드 획득 시스템(double dwell code acquisition system)을 채택한 제안된 시스템의 블록도이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, I-Q 비동기식 능동 상관기(I-Q noncoherent active correlator), PN 코드 생성기(PN code generator), 코드 위상 제어기(code phase controller)는 제안된 시스템의 3 가지 모드에서 공유한다. 그림 1에서 음영 처리되어 있는 프리덱프 모드에서

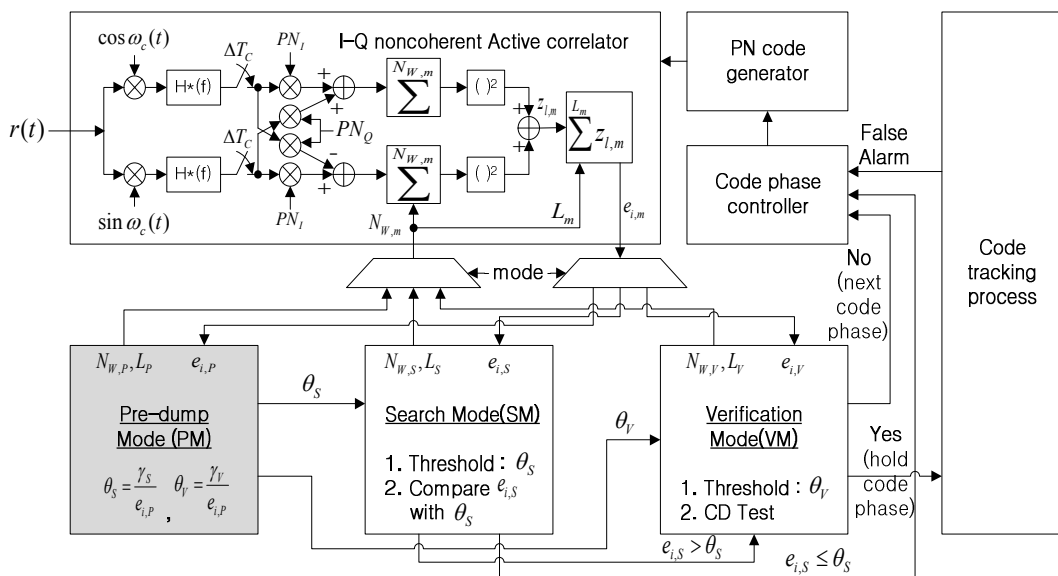


그림 1. 제안된 알고리즘의 블록도
Fig. 1. A block diagram of the proposed algorithm.

는 단지 탐색 모드와 확인 모드의 임계값을 생성하기 위해 상관 에너지만을 체크 하면 되기 때문에 상관을 위한 적분 시간(dwel time)을 짧게 설정한다. 탐색 모드에서는 확인 모드로 통과 할지 안 할지 여부를 판별 하는데, 오류 코드 위상을 빠르게 거부하기 위해서 적분 시간을 짧게 설정한다. 확인 모드에서는 오경보 확률을 줄이기 위해서 프리덴프 모드와 탐색 모드보다 더 길게 적분 시간을 선언한다.

탐색 모드와 확인 모드를 모두 통과하고 코드 추적 시스템(code tracking system)에서 오경보 상태(false alarm state)로 인식되는 경우가 동기 획득 시스템(acquisition system)에서 최악의 경우이다. 오경보 상태에서 다시 획득 모드(acquisition mode)로 돌아오는 페널티 시간(penalty time)은 $J\alpha\tau_D$ 이다. J 와 τ_D 는 각각 오경보 파라미터(false alarm parameter)와 프리덴프 모드의 적분 시간(dwel time)이다. 기존의 알고리즘에서 τ_D 는 탐색 모드의 적분시간인데, 본 논문에서의 τ_D 는 프리덴프 모드의 적분시간이기 때문에, $\alpha(=N_{W,S}/N_{W,P})$ 를 곱해 기존 알고리즘과 동일한 페널티 시간을 적용했다.

제안된 프리덴프 모드에서, 그림 1과 같이 임계값을 만들기 위해서는 나눗셈기가 필요하다. 만약에 모델이 오직 하드웨어로만 구성되어 있다면, 제안된 기술은 추가적인 하드웨어 비용이 필요하다. 하지만 일반적으로 대부분의 통신 시스템은 유동성(flexibility)와 뛰어난 정교함, 안정성을 증진시키기 위해서 오직 하드웨어만으로 구성되어 있지 않다. 임계값 계산같이 많은 동기 획득 시스템의 과정들은 마이크로 프로세서를 이용해 제어된다^[8]. 그러므로 제안된 알고리즘은 기존 시스템의 하드웨어에서 변화 없이 구현 할 수 있다.

III. 수학적 모델링

그림 2는 제안된 알고리즘이 채택한 이중 적분 직렬 동기획득(double dwell serial search) 알고리즘의 상태도이다. 정확한 위상(H_1 cell)은 하나의 샘플에서만 존재한다. 그림 2의 상태도에서 볼 수 있듯이, 기존의 탐색 모드와 확인 모드에 프리덴프 모드가 추가되었다. V 는 불확실한 구간의 길이이고, g 는 후치 적분 길이의 비율(the ratio of post-detection integration)이다.

우리는 [1]에서와 같은 I-Q 비동기식 능동 상관기를 사용했기 때문에, 탐색과 확인 모드에서의 검출확률과 오경보 확률들은 [1]에서 주어진 H_i ($i=0$ or 1)의 확률

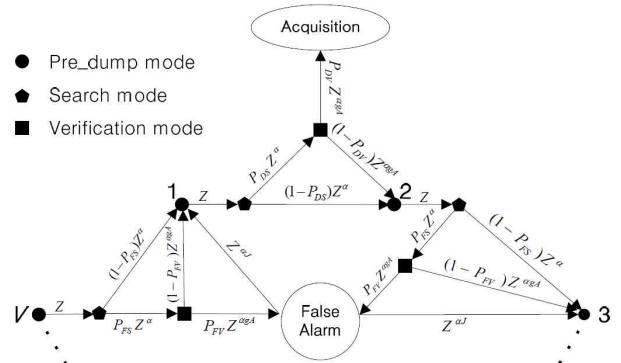


그림 2. 제안된 알고리즘의 상태도
Fig. 2. A state diagram of the proposed algorithm.

밀도 함수(probability density function)로부터 얻을 수 있다. 하에서 상관기 출력의 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$f_m(\eta | H_i) = \frac{1}{(L_m - 1)! V_{i,m}^{L_m}} \eta^{L_m - 1} e^{-\frac{\eta}{V_{i,m}}} \quad (1)$$

이 때, L_m 은 m 모드($m=S$ and V)에서 후치 적분 길이를 의미하고, 주파수 에러를 보상하는데 사용된다^[1]. $V_{i,m}$ 은 m 모드에서 H_i cell 의 능동 상관기 출력이다. 출력 값의 식은 상관 길이(correlation length)를 제외하고, [1]의 식 (3), (4)에 나타난 V_N ($i=0$), V_i ($i=1$)와 동일하다. [1]의 식 (3), (4)에 정의된 상관 길이 N_W 는 m 모드 ($m=P, S$ and V)에서의 상관 길이($N_{W,m}$)로 대체할 수 있다.

m 모드($m=S$ and V)의 임계값(θ_m)은 프리덴프 모드에서 정의된다. 만약 탐색 모드에서 계산된 코드 위상이 높은 상관 에너지를 갖는다면 현재 위상이 H_1 cell (correct code phase)일 확률은 증가하고, H_0 cell (incorrect code phase)일 확률은 감소한다. 기존 시스템의 실험적인 결과로부터 상관 에너지가 높을 때 코드 위상의 통과를 위해서 임계값은 낮게 설정해야 한다. 반대로, 낮은 상관 에너지의 경우에는 오경보 확률을 감소시키기 위해서 임계값을 높게 설정한다^[1]. 이와 같은 원리로부터, m 모드에서의 임계값은 아래와 같이 정의 할 수 있다.

$$\theta_m |_{H_i} = \frac{\gamma_m}{V_{i,P}} \quad (2)$$

이 때, m 모드에서 임계값을 계산하기 위한 배율(scale factor) 값이다. 평균동기획득 시간을 최소화시킬

수 있는 이상적인 배율 값은 수학적 분석으로 구하기 힘들다. 이상적인 배율 값을 찾기 위해서는 기존 알고리즘과 같이 컴퓨터 시뮬레이션을 해야 한다^[1].

탐색 모드에서 검출 확률($P_{i,S}$)과 오경보 확률($P_{0,S}$)은 H_i cell에서의 상관 에너지가 탐색 모드의 임계값($\theta_{s|H_i}$)을 초과 할 때 얻어진다. $P_{i,S}$ 는 식 (2)와 [1]에서의 탐색 확률을 사용해 정의된다.

$$P_{i,S} = \int_{\theta_{s|H_i}}^{\infty} f_m(\eta|H_i) d\eta = e^{-\frac{\theta_{s|H_i} L_{S-1}}{V_{i,S}} \sum_{l=0}^{L_S-1} \left\{ \frac{\theta_{s|H_i}}{V_{i,S}} \right\}^2} = e^{-\frac{\gamma_S}{V_{i,P} V_{i,S}} \sum_{l=0}^{L_S-1} \left\{ \frac{\gamma_S}{V_{i,P} V_{i,S}} \right\}^2} \quad (3)$$

확인 모드는 확인 모드의 임계값($\theta_{v|H_i}$)을 갖고 CD (coincidence detection) 테스트 방법을 사용한다^[9]. 확인 모드에서의 검출 확률($P_{i,V}$)과 오경보 확률($P_{0,V}$)은 식 (2)와 [1]에서 확인 모드 확률을 사용해 얻어진다. 이 값들은 다음과 같다.

$$P_{i,V} = \sum_{n=B}^A \binom{A}{n} P_i^n (1-P_i)^{A-n} \quad (4)$$

이 때,

$$P_{i,V} = \int_{\theta_{v|H_i}}^{\infty} f_m(\eta|H_i) d\eta = e^{-\frac{\theta_{v|H_i} L_{S-1}}{V_{i,V}} \sum_{l=0}^{L_S-1} \left\{ \frac{\theta_{v|H_i}}{V_{i,V}} \right\}^2} = e^{-\frac{\gamma_S}{V_{i,P} V_{i,V}} \sum_{l=0}^{L_S-1} \left\{ \frac{\gamma_S}{V_{i,P} V_{i,V}} \right\}^2} \quad (5)$$

결국, 평균 코드 획득 시간은 [1]의 방법을 통해 얻을 수 있다. 제안된 알고리즘에서의 평균 코드 획득 시간 수식은 [1]의 식 (16)에 주어진다. 하지만 $H_D(1)$, $H_0'(1)$, $H_D'(1)$, $H_M'(1)$, 그리고 τ_D 는 기존 알고리즘의 식과 다르다. 이 값들은 아래와 같이 정의된다.

$$H_D(1) = P_{DS} P_{DV} Z^{1+\alpha+\alpha g A} \quad (6)$$

$$H_0'(1) = 1 + \alpha + \alpha g A P_{fs} + \alpha J P_{FS} P_{FV} \quad (7)$$

$$H_D'(1) = (1 + \alpha + \alpha g A) P_{DS} P_{DV} \quad (8)$$

$$H_M'(1) = 1 + \alpha + \alpha g A P_{DS} - (1 + \alpha + \alpha g A) P_{DS} P_{DV} \quad (9)$$

$$T_D = L_S N_w P T_C \quad (10)$$

이 때, T_C 는 PN 코드의 칩 주기이다.

IV. 실험

제안된 알고리즘을 분석하기 위해서 기존 알고리즘^[1]과 동일한 시스템 파라미터와 시뮬레이션 환경을 사용했다. 컴퓨터 시뮬레이션은 기존 알고리즘^[1]과 동일한 방법으로 최소의 평균 코드 획득 시간에서 구해진 이상적인 배율 값과 적분 시간을 모든 채널의 평균으로부터 얻었다. 표 1은 $E_c/I_0 = -12\text{dB}$ 에서 계산된 기존 기술의 이상적인 임계값과 제안된 기술의 배율 값이다. 시뮬레이션으로부터 프리-덤프 모드의 이상적인 적분 시간 20 PN 칩을 얻을 수 있다.

그림 3과 4는 각각 IMT-2000 실내 채널(indoor channel)과 차량 채널(vehicular channel)에서 기존 알고리즘과 비교한 제안된 알고리즘의 평균 코드 획득 시간이다. 이 그림에서, 다음과 같은 결과를 볼 수 있다. 1) SNR이 -12dB 이상일 때, 제안된 알고리즘의 평균 코드 획득 시간은 싱글 임계값 알고리즘($K=1$)과 다중 레벨 임계값($K=5$)과 비교해 각각 1.0-2.5초와 0.7-1.5초 감소한다. 2) 차량 채널에서의 성능 증진은 실내 채널에서보다 더욱 뛰어나다.

제안된 기술은 프리-덤프모드에서 상관 에너지에 따른 임계값을 적용함으로써 탐색 모드에서도 빠른 거절을 하여 채널 모드에 상관 없이 성능을 향상 시킬 수 있다. 그러나 제안된 알고리즘 역시 특정 SNR에서 계산된 배율 값을 사용하기 때문에, 기존 알고리즘과 같이 평균 코드 획득 시간은 SNR이 증가할 때 계속해서 감소하지 않는다. 제안된 알고리즘이 평균 코드 획득시

표 1. 임계치 및 배율(γ) 값
Table 1. Optimum threshold values and scale factors.

동기방식	임계치
Conv. [1]	$K=1$ (θ_s, θ_v) (61.21, 151.88)
	$K=2$ (59.75, 157.52), (150.13, 113.64)
	$K=3$ (59.29, 160.43), (114.83, 133.92), (194.25, 95.40)
	$K=4$ (59.19, 161.88), (102.40, 141.46), (156.40, 116.23), (234.13, 79.5)
	$K=5$ (57.9, 162.3), (101.3, 142.6), (154.3, 118.3), (226.3, 87.0), (320.3, 47.3)
Prop.	(γ_s, γ_v) (21393.61, 56220.42)

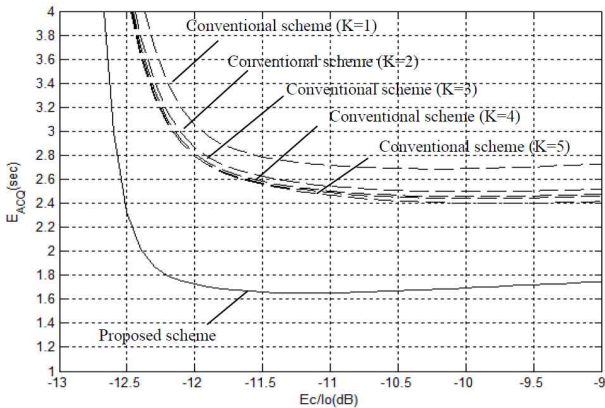


그림 3. IMT-2000 실내채널에서 평균동기획득 시간
Fig. 3. Mean code acquisition time in IMT-2000 indoor.

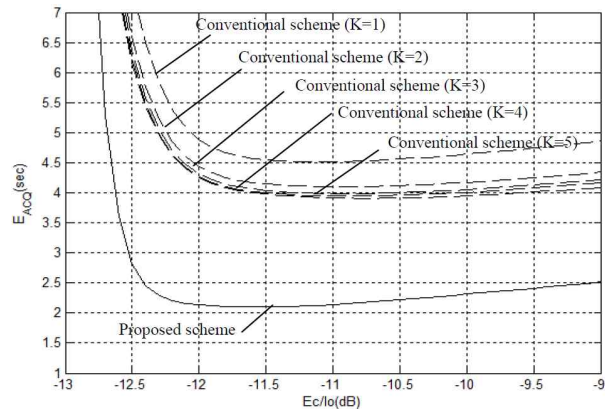


그림 4. IMT-2000 차량채널에서 평균동기획득 시간
Fig. 4. Mean code acquisition time in IMT-2000 vehicular.

간을 크게 감소시켰음에도 불구하고, 높은 SNR에서 성능 향상이 되지 않는 결점을 갖고 있기 때문에 이는 고정된 비율 값을 사용하지 않으면서도 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 연구해야 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 시스템의 하드웨어 구조를 변경하지 않으면서도 동기획득 시간을 획기적으로 개선시킬 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식에서는 기존 알고리즘에 프리덤프 모드를 추가하여 프리덤프모드에서 계산된 상관에너지에 따라 탐색모드와 확인모드의 임계치를 적응적으로 적용하였다. 제안된 방식은 확인모드의 성능을 향상시킨 기존방식(multi-level threshold)과 달리, 탐색모드와 확인모드에서 모두 성능을 향상시킬 수 있었다. 컴퓨터 시뮬레이션으로부터, 제안된 프리덤프 모드 기술은 기존 알고리즘과 비교했을

때 동기 획득 성능을 약 40% 증진시킨 것을 확인할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 추가적인 하드웨어 비용이 없기 때문에 저전력 디자인이 중요한 이슈인 기존 휴대용 장비에서 매우 유용하게 사용 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이성주, 김재석, "PN 코드 동기획득에서 다중 임계치의 효과," 전자공학회 논문지, 제39권 1호, TC 편, 42-48쪽, 2002년 1월.
- [2] G. Giunta, A. Neri, M. Carli, "Constrained Optimization of Noncoherent Serial Acquisition of Spread-Spectrum Code by Exploiting the Generalized Q-Functions," IEEE Trans. on Veh. Techn. vol. 52, pp.1378-1385. Sept. 2003.
- [3] 이성주, 김재석, "탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대한 수학적 모델링 및 성능분석," 전자공학회논문지-S, 제36권 19호, 9-17쪽, 1999년 9월.
- [4] C.-J. Kim, H.-J. Lee, "Adaptive acquisition of PN sequences for DSSS communications, IEEE Trans. Commun, Vol.46, pp.993-996, Aug. 1998.
- [5] Z. Chen, X. Chen, H. Hong, H. Lin, "Spread Spectrum Signal Synchronous Arithmetic Using Power Spectrum Estimation and Adaptive Threshold", WICOM '08. 4th International Conference, pp.1-3, Oct. 2008.
- [6] G. Giunta, A. Neri, "Initial DS/SS code synchronization by two-dimensional techniques and MIMO systems", Proc. of 2004 VTC Spring, vol.2, pp.1119-1123, 2004.
- [7] M. Guainazzo, C. Sacchi, C. Regazzoni, "A serial acquisition scheme based on statistical-hypothesis-testing for asynchronous DS/CDMA systems", Proc. of ICC 2002 Conf., vol.5, pp.3111-3115, 2002.
- [8] Qualcomm Technical Manual, CDMA Mobile Station ASIC, 1994.
- [9] E. Sourour and S.C. Gupta, "Direct sequence spread spectrum parallel acquisition in a fading mobile channel," IEEE Trans. Commu., Vol. 38, No. 7, pp. 992-998, 1990.

— 저 자 소 개 —



염 수 남(학생회원)
 2009년 세종대학교 정보통신
 공학과 학사졸업.
 2011년 세종대학교 정보통신
 공학과 석사

<주관심분야 : PN동기 시스템의 SoC 설계, 초고속 무선통신시스템의 SoC>



이 성 주(평생회원)-교신저자
 1993년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1998년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2002년 연세대학교 전기전자
 공학과 박사 졸업.

2002년~2003년 연세대학교 ASIC연구소
 전문연구원
 2003년~2005년 삼성전자 DM총괄 책임연구원
 2005년~2006년 연세대학교 IT연구단 연구교수
 2006년~현재 세종대학교 정보통신공학과 부교수
 <주관심분야 : 영상처리시스템용 SoC 설계, 초고속 무선통신 시스템의 SoC 설계>