

직접대역확산방식에서 새로운 적응형 구조를 이용한 PN 코드의 빠른 포착

오해석, 임채현, 한동석
경북대학교 전자전기공학부
전화 : (053) 950-6609 / 팩스 : (053) 950-5505

Fast PN Code Acquisition with Novel Adaptive Architecture in DS-SS Systems

Hae-Sock Oh, Chae-Hyun Lim, Dong-Seog Han
School of Electronic & Electrical Engineering, Kyungpook National University
E-mail : ojhue@palgong.knu.ac.kr

Abstract

In this paper, a fast pseudo-noise (PN) code acquisition with novel adaptive architecture is presented in direct-sequence spread-spectrum (DS-SS) systems. Since an existing acquisition system has a fixed correlation tap size and threshold value, this system cannot adapt to various mobile communication environments and results in a low detection probability or a high false alarm rate and long acquisition time. Therefore, if a correlation tap size and a threshold value can be controlled adaptively according to received signals, problems of an existing system will be solved. The system parameter varies adaptively by using constant false alarm rate (CFAR) algorithm well known in a field of detection and proposed signal-to-noise ratio (SNR) measurement system. By deriving formulas of the proposed system, the performance is analyzed.

I. 서론

과거에 군사용으로 사용되어오던 대역확산통신방식은 현재에 이르러 CDMA, IS-95, IMT-2000 등에 채택되어 전 세계적으로 상용화 되고 있으며 이러한 시스템들은 대역확산 통신방식 중 직접대역확산방식

(direct-sequence spread-spectrum)을 채택하고 있다. 이에 따라 확산신호를 효과적으로 포착하는 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며[1-3], 특히 IMT-2000의 비동방식인 경우에는 코드의 탐색시간이 오래 걸리므로 포착시간의 단축에 대한 연구가 활발하게 되었다. 그러나 기존의 포착방식은 크게 두 가지의 문제점이 있다. 첫째, 고정된 임계값을 사용하여 주위 환경에 따라 오경보율(P_{FA})과 신호의 포착확률(P_D)이 가변 되는 문제점을 안고 있다. 또한 기존의 시스템은 임계값을 결정할 때 특정한 환경을 설정하여 여러 번의 실험을 거쳐 국부적으로 최적인 임계값을 시스템에 적용시켰다. 고정된 임계값은 높은 오경보율을 유발시키거나 혹은 낮은 포착확률의 결과를 가져온다. 둘째, 상관기의 탭 길이를 일정한 값을 사용함으로써 수신된 신호의 크기에 따라 최적의 평균포착시간($\overline{T_{acq}}$)을 획득하지 못한다. 수신된 신호의 신호대 잡음비(SNR, signal-to-noise ratio)가 클 때는 상관기의 탭 길이가 짧은 것이 평균포착시간이 짧아지며, 신호대 잡음비가 작을 때는 상관기의 탭 길이가 긴 것이 평균포착시간의 개선에 도움이 된다. 그러므로, 임계값과 상관기의 탭 길이를 수신된 신호의 크기에 따라 적응적으로 바꾸면 전체 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있고 다양한 신호의 세기가 존재하는 이동통신 환경에서 적응적으로 동작하므로 사용자에게 충분한 질의 서비스를 제공 할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 검파분야에서 잘 알려진 고정 오경보율(CFAR, constant false alarm rate) 알고리즘[4]과 새로이 제안된

는 신호대 잡음비 측정 시스템(SNR measurement system)을 적용하여 포착 시스템의 임계값과 상관기의 탭 길이를 적응적으로 변화시켜 다양한 환경에 적응하도록 한다.

본문에서는 신호대 잡음비 측정 시스템을 수학적으로 분석하고 고정 오경보율 알고리즘을 적용한 직렬 탐색 시스템에 대해서 시스템의 포착확률, 오경보율의 수식을 유도하고 평균포착시간에 대한 제안된 시스템의 성능을 분석하였다.

II. 적응형 포착 시스템

그림 1은 제안된 시스템의 블록도를 나타낸다. 그림에서 적응 검출기는 들어오는 신호의 크기에 따라 검출기 내의 비교기의 임계값을 적응적으로 조정하고, 신호대 잡음비 측정 시스템은 수신 신호의 신호대 잡음비를 측정하여 적응검출기 내의 상관기의 탭 길이를 조정하게 된다. 이렇게 함으로써 기존의 포착시스템의 문제점을 해결하고, 완전히 적응적으로 신호를 검출할 수 있고, 따라서 평균포착시간을 줄일 수 있다.

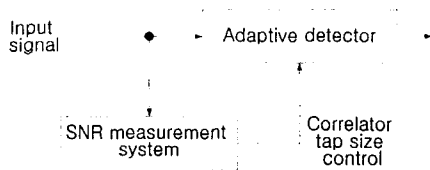


그림 1. 제안된 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagram of the proposed system.

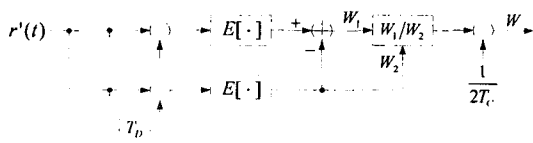


그림 2. 신호대 잡음비 측정 시스템
Fig. 2. SNR measurement system.

그림 2는 신호대 잡음비 측정 시스템의 블록도이다. 여기서 T_c 는 임의의 시간 지연을 나타내고, T_c 는 의사잡음신호(pseudo-random signal)의 칩 시간(chip time)[sec]이다. 수신된 신호의 기저대역 모델은

$$r'(t) = \sqrt{S}C(t - \beta T_c) + n(t) \quad (1)$$

이고, 여기서 S 는 수신신호의 전력, $C(t)$ 는 의사잡음 신호, β 는 수신된 의사잡음신호의 위상, $n(t)$ 는 평균이 0이고 단방향 전력 스펙트럼 밀도가 N_0 [W/Hz]인 협대역 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN, additive white Gaussian noise)이다. 출력신호 W 는

$$W = \frac{W_1}{W_2} \times \frac{1}{2T_c} = \frac{S}{N_0 T_c} [\text{SNR}/\text{chip}] \quad (2)$$

이 되어, 수신된 신호의 칩당 신호대 잡음비(SNR/chip)를 나타낸다. 그러므로 그림 2의 블록을 이용해서 수신된 신호의 신호대 잡음비를 측정해서 적응 검출기 내의 상관기의 탭 길이를 적응적으로 조절할 수 있다.

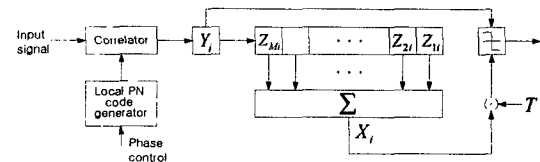


그림 3. 적응 검출기의 블록도
Fig. 3. Block diagram of adaptive detector.

그림 3은 적응 검출기의 블록도를 나타낸다. 수신된 신호가 비동기식 I-Q 정합 필터 상관기(non-coherent matched filter correlator)를 통해서 국부 의사잡음신호 발생기에서 발생된 신호와 상관을 취하게 된다. 검파 분야에서 잘 알려진 고정 오경보율 알고리즘 중 하드웨어의 복잡도를 고려하여 셀평균 고정 오경보율(CA-CFAR, cell-averaging CFAR) 알고리즘[4]을 사용하여 적응 검출기 내의 비교기의 임계값을 들어오는 신호의 크기에 따라 적응적으로 변화시키고 있다. 즉, 상관기의 출력은 $M+1$ 개의 레지스터로 저장 되는데 Y_i ($i=1,2,3$)는 현재 검사해야 할 위상의 신호이고 Z_j ($j=1,2,\dots,M$)는 이전의 M 개의 신호가 저장된 것이다. 여기서 i 는 신호대 잡음비에 따라 변화시키는 상관기 탭 길이에 따른 첨자이다. M 개의 레지스터는 일반적으로 윈도우(window)라고 부른다. 변수 X_i 는 윈도우 내의 값들을 모두 더한 것이며, 이 값을 이용해서 전력 레벨을 예측하고 주어진 오경보율에 따른 T 를 곱해서 비교기의 임계값으로 사용한다.

부가 백색 가우시안 잡음채널에서 셀평균 고정 오경보율을 적용한 직렬 탐색 시스템의 포착확률(P_{th})은

$$\begin{aligned}
 P_{th} &= \int_0^{\infty} \frac{x^{M-1}}{\Gamma(M)(2\sigma_m^2)^M} e^{-\frac{x}{2\sigma_m^2}} \int_{ix}^{\infty} \frac{1}{2\sigma_m^2} e^{-\frac{m_i^2+y}{2\sigma_m^2}} I_0\left(\frac{m_i\sqrt{y}}{\sigma_m^2}\right) dy dx \\
 &= \int_0^{\infty} \frac{x^{M-1}}{\Gamma(M)(2\sigma_m^2)^M} e^{-\frac{x}{2\sigma_m^2}} Q\left(\frac{m}{\sigma_n}, \frac{\sqrt{Tx}}{\sigma_n}\right) dx \\
 &= \frac{1}{\Gamma(M)(2\sigma_m^2)^M} e^{-\frac{m^2}{2\sigma_m^2}} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^k \left(\frac{m_l}{2\sigma_m^2}\right)^{2k} \\
 &\quad \times \frac{1}{l!} (2\sigma_m^2)^{k-l} T^l \frac{(M+l-1)!}{\Gamma(k+1)} \left(\frac{1+T}{2\sigma_m^2}\right)^{-M-l} \quad (3)
 \end{aligned}$$

이다. 여기서 σ_m^2 는 $N_0 N_i T_c / 2$, m_i^2 는 $N_i^2 T_c^2 S$, N_i 는 상관기의 탭 길이, $I_0(\cdot)$ 는 제1종 영차 변형 베셀 함수, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수, $Q(\cdot)$ 는 Marcum's Q-함수를 나타낸다.

셀평균 고정 오정보율을 적용한 시스템의 오정보율 (P_{FAI})은

$$\begin{aligned}
 P_{FAI} &= \int_0^{\infty} \frac{1}{\Gamma(M)(2\sigma_m^2)^M} x^{M-1} e^{-\frac{x}{2\sigma_m^2}} \int_{ix}^{\infty} \frac{1}{2\sigma_m^2} e^{-\frac{y}{2\sigma_m^2}} dy dx \\
 &= (1+T)^M \quad (4)
 \end{aligned}$$

이며, 고정 임계값을 가지는 기존의 시스템은 신호대 잡음비에 따라 오정보율의 심한 변화가 있는데 비해서, (4)식에서 T 와 M 은 상수 값이므로 제안한 시스템의 오정보율은 신호대 잡음비와 상관없이 일정한 값을 유지하므로 외부환경에 대해서 안정적인 성능을 보인다.

적절 탐색 시스템의 평균포착시간($\overline{T_{acq}}$)은[5]

$$\overline{T_{acq}} = \frac{2 + (2 - P_{Di})(L-1)(1 + KP_{FAI})}{2P_{Di}} N_i T_c \quad (5)$$

이며, L 은 의사잡음신호의 길이이고 K 는 오검출 벌칙시간상수(penalty time constant)이다.

III. 제안한 시스템의 모의실험 및 고찰

식 (3)-(5)를 이용하여 $M=10$, $P_{FAI}=0.01$,

$T_c=10^{-6}$, $L=1023$, $K=10000$ 일 때, 상관기의 탭 길이를 64, 96, 128의 세 가지의 경우에 대해서 평균 포착시간의 그래프를 그리면 그림 4와 같다.

그림 4로부터 칩당 신호대 잡음비가 -25dB에서 0dB까지 변할 때 평균포착시간이 최소가 되는 상관기의 탭 길이(N_{min})와 구간을 표 1에 나타내었다.

표 1. 칩당 신호대 잡음비에 따른 N_{min} 값
Table 1. N_{min} according to SNR/chip.

SNR/chip [dB]	N_{min}
-25 ~ -10.45	128
-10.44 ~ -8.96	96
-8.95 ~ 0	64

표 1에서 칩당 신호대 잡음비가 작은 부분에서는 상관기의 탭 길이가 길수록 평균포착시간이 줄어들며 칩당 신호대 잡음비가 좋아질수록 탭 길이가 짧은 것이 좋은 성능을 나타낸다.

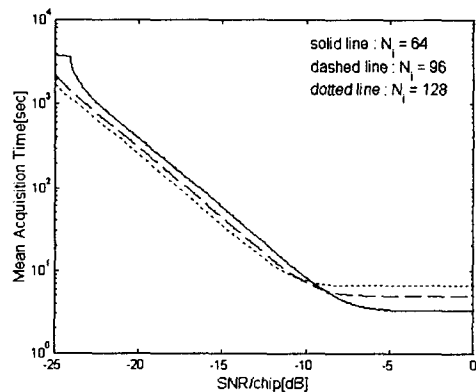


그림 4. 상관기의 탭 길이에 따른 평균포착시간
Fig. 4. Mean acquisition time according to N_t 's

신호대 잡음비 측정 시스템이 수신신호에 따라 칩당 신호대 잡음비를 측정해서 표 1에 따라 상관기의 탭 길이를 조정하면 최소의 평균포착시간을 얻을 수 있다. 그림 5, 6, 7은 이러한 방법을 이용해서 획득한 최소 평균포착시간을 보여주고 있다. 고정 탭 길이 64, 96, 128을 가지는 시스템의 평균포착시간과 각각 비교하였다.

제안된 신호대 잡음비 측정 시스템을 이용해서 세 개의 탭 길이를 입력신호의 크기에 따라 가변시킴으로써 최소의 평균포착시간을 구현 할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존 시스템의 문제점인 고정된 상관기 탭 길이와 임계값을 신호대 잡음비 측정 시스템과 셀평균 고정 오경보율 알고리즘을 이용해서 다양한 신호 환경에서 적응적으로 동작하는 시스템을 제안하였다. 직렬 탐색기에 제안한 알고리즘을 적용해서 검출 확률 및 오경보율의 수식을 유도하고 평균포착시간에 따른 제안한 시스템의 성능을 분석하였다. 셀평균 고정 오경보율 기법을 포착 시스템에 적용하여 임계값을 신호의 세기에 따라 가변 시킴으로써 전체 시스템이 다양한 환경에 대해서 안정된 성능을 가질 수 있도록 하였으며, 신호대 잡음비 측정 시스템을 개발하여 상관기의 탭 길이를 수신신호의 크기에 따라 가변 시킴으로써 평균포착시간의 최소화를 구현하였다.

참고문헌

- [1] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, L. B. Milstein, "Theory of Spread-Spectrum Communications - A Tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 5, May 1982.
- [2] S. S. Rappaport, D. M. Grieco, "Spread-Spectrum Signal Acquisition: Methods and Technology," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 22, no. 6, June 1984.
- [3] A. Polydoros, C. L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread Spectrum Code Acquisition - Part 1: General theory," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 5, May 1984.
- [4] N. Levanon, *Radar Principles*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1988.
- [5] J. K. Holmes, C. C. Chen, "Acquisition Time Performance of PN Spread-Spectrum Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, no. 8, Aug. 1977.

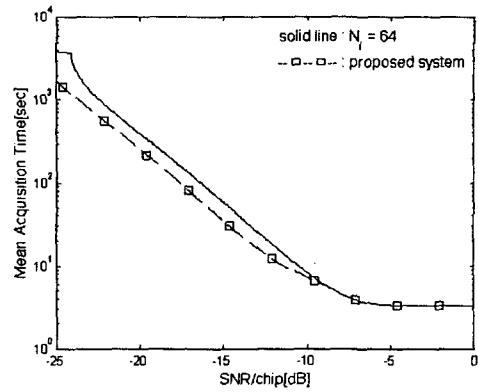


그림 5. 평균포착시간의 비교(1)

Fig. 5. Comparison of mean acquisition time(1).

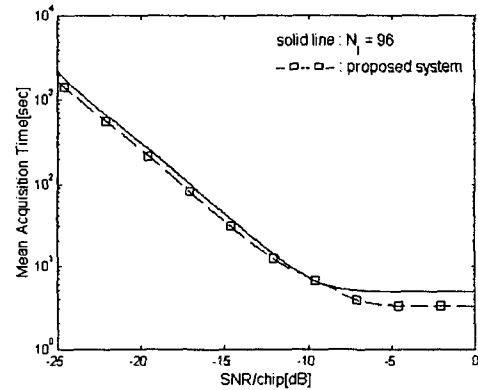


그림 6. 평균포착시간의 비교(2)

Fig. 6. Comparison of mean acquisition time(2).

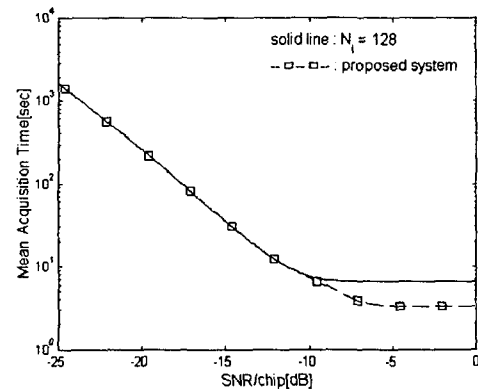


그림 7. 평균포착시간의 비교(3)

Fig. 7. Comparison of mean acquisition time(3).