

직접대역확산 방식에서 상관기 출력의 평균편차를 이용한 최적 PN 코드획득 방법

정회원 류 영 재*

Optimum PN Code Acquisition Method using Mean Deviation of Correlator in DS-CDMA Systems

Young-Jae Ryu* Regular Members

요 약

본 논문은 직접대역확산 방식에서 PN 코드탐색의 동기성능에 관한 내용으로 코드탐색회로의 상관기 출력 값의 평균편차로부터 수신 채널환경을 추정하고 추정된 채널환경에서 목표로 하는 코드 획득성능을 만족할 수 있도록 상관기의 탭 길이를 적응적으로 변경함으로써 고정된 상관기 탭 길이를 이용하는 방법에 비하여 획득성능을 향상시킬 수 있는 PN 코드탐색 알고리즘을 제안하였다.

Key Words : Satellite Communication, Spread Spectrum, Code acquisition, Mean Deviation, Channel Estimation

ABSTRACT

In this paper, we proposed new algorithm that improves the acquisition performance of the PN code searcher used in DS-CDMA systems. Using the mean deviation computed from the correlator output of the PN code searcher, it is possible to estimate received channel environment. To satisfy the required acquisition performance in estimated channel environment, the PN code searcher changes the correlator tap size adaptively. Proposed algorithm shows improved performance compared with conventional algorithm using the fixed correlator tap size.

I. 서 론

최근 민간 중계기와 군용 중계기가 함께 탑재된 민/군 공용의 위성이 발사되어 정상 운용됨에 따라 한국도 군사 목적의 위성통신체계를 독자적으로 보유하게 되었다. 채널대역 대비 많은 전송률을 목표로 하는 상용 통신과는 달리 군사 목적의 위성통신은 적의 의도적인 간섭으로부터 신호를 보호하기 위한 대책 수립이 필요하며 여러 대책 중 하나로 직접대역확산 방식을 채택하였다.

최초 군사용으로 개발된 직접대역확산 통신

은 IS-95, WCDMA 등으로 상용화되어 전 세계적으로 활발한 연구가 진행되었으며 코드 획득은 대역확산 통신의 핵심기술로 코드 획득성능 향상을 위한 여러 방안이 제안되었다[1-2]. 특히 고정 오경보율(CFAR: Constant False Alarm Rate) 알고리즘[3]은 수신코드 상관값을 고정된 임계값과 비교하여 열악한 채널에서 오경보율이 증가하는 기존의 문제를 수신 채널에 따라 획득 임계값을 변경함으로써 채널 환경에 관계없이 오경보율이 일정하도록 하였다.

빠른 코드획득을 위해 기준 시간정보나 별도 동기채널을 제공하는 상용 통신과는 달리 군용 통신은 중심국 타격 시 전체 통신망이 두

* 국방과학연구소 위성통신체계부(yjryu@add.re.kr)

논문번호 : K2-1-1, 접수일자 : 2007년 5월 15일, 최종게재논문통보일자 : 2007년 6월 12일

절되는 중심극 구조를 배제하고 전송신호가 노출되는 위성통신에서 적으로부터 신호유출을 보호하기 위해 긴 주기의 코드를 사용함으로써 전체 코드 탐색에 많은 시간이 소요된다.

고정 오정보율 알고리즘은 채널에 관계없이 오정보율은 유지되나 그 자체만으로 획득 확률을 향상시킬 수는 없으며 획득 확률은 상관기 탭 길이에 비례하므로 열악한 채널환경에서도 운용이 보장되어야 하는 군용 통신에서는 긴 상관기 탭을 사용해야 한다. 반면, 긴 상관기 탭 사용은 채널이 열악하지 않은 환경에서 필요 이상으로 소요 시간을 증가시키는 문제가 있다.

본 논문은 고정된 상관기 탭 길이를 사용하여 채널환경에 따라 코드 획득 성능이 최적화되지 못하는 문제를 해결하기 위하여 코드 탐색회로 상관값의 평균편차로부터 채널을 추정하여 상관기의 탭 길이를 적응적으로 변경하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 본 논문은 II장에서 대역확산 방식에서 코드 획득의 구조 및 성능 분석에 대하여 설명한다. III장에서는 상관값 평균편차를 이용한 채널추정 방법과 상관기의 탭 길이를 변경하는 방법을 제시하고 IV장에서 고정된 탭 길이를 사용하는 기존 알고리즘 대비 제안 알고리즘의 성능을 비교평가하고 마지막 V장에서 논문의 결론을 맺는다.

II. 코드 획득방법

직접대역확산 방식에서 코드 탐색회로는 수신신호와 기준 PN 코드의 위상이 일치할 때 최대 상관값을 가지는 특성을 이용하여 PN 코드의 전체 주기에서 최대의 상관값을 가지는 지점을 코드 획득지점으로 결정한다.

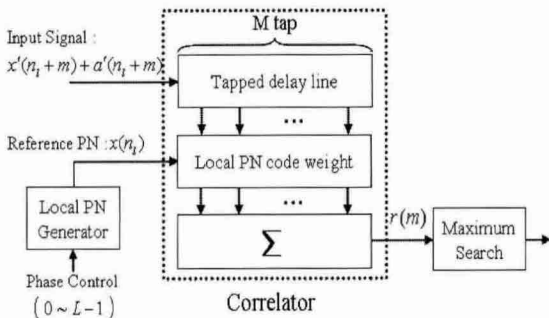


그림 1. 코드 탐색회로(Searcher)의 블록도

그림 1은 직접대역확산 방식에서 코드 획득의 기본 구조를 나타낸다. 그림 1에서 x 는 PN 코드 인덱스, a 는 수신 신호의 잡음, M 은 상관

기 탭 길이, l 은 상관값 계산 횟수, m 은 기준 PN 코드와 수신 신호의 위상 차, $r(m)$ 은 위상차가 m 인 상관 출력을 나타낸다. 그림 2는 상관기의 탭 길이가 256, 기준 PN 코드와 수신 신호의 위상 차이가 3일 때 코드 탐색회로의 동작을 설명한 것으로 위상 차와 동일한 3번째 상관값 계산에서 동기가 일치한다.

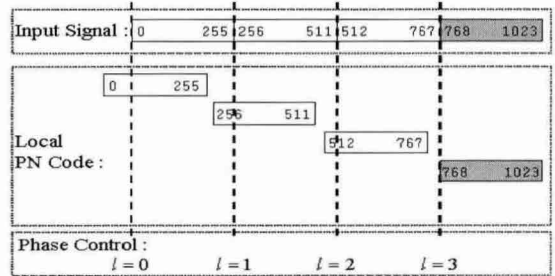


그림 2. 코드 탐색회로(Searcher)의 동작 개념

PN 코드 특성 상 코드 획득지점에서의 상관값이 미 획득지점에 비하여 월등히 크기 때문에 좋은 채널환경에서는 코드 획득오류가 발생하지 않는다. 반면, 신호보다 잡음이 우세한 열악한 채널환경에서는 잡음의 영향으로 코드 미 획득 지점의 상관값이 커져 획득 오류가 발생할 수 있다.

$$r(m) = \sum_{n=1}^M x(n) \cdot \{x'(n+m) + a'(n+m)\} = \sum_{n=1}^M \{x(n) \cdot x(n+m)\} \pm N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

수식 (1)은 분산이 σ^2 인 AWGN 채널에서 코드 탐색회로의 상관값 출력을 나타내며, 위상차가 m 인 PN 코드 간 상관값과 잡음에 의한 값으로 분리할 수 있다.

$$r(m) = \begin{cases} M + N(0, M\sigma^2) & m = 0 \\ N(0, M) + N(0, M\sigma^2) & m \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

수식 (2)는 위상 차에 따른 상관값의 차이를 나타낸다. 코드 획득지점($m=0$)에서는 기준 PN 코드와 수신 신호의 부호가 동일하므로 상관값은 탭 길이와 동일한 M 이 된다. 미 획득지점($m=1 \sim L-1$)에서는 상관기 각 탭의 출력이 +1 또는 -1이 0.5의 확률로 발생하는 이항(Binomial)분포를 가지므로 M 개의 탭이 누적된 상관기의 출력은 중심극한 정리(Central Limit

Theorem)에 의하여 평균이 0, 분산이 M인 정규 분포를 가진다. 수식 (2)에서 잡음에 의한 상관값은 코드 획득에 관계없이 $N(0, \sigma^2)$ 를 M탭에 걸쳐 누적한 $N(0, M\sigma^2)$ 의 정규분포를 가진다.

$$r(m) = \begin{cases} N(1, \sigma^2/M) & m=0 \\ N(0, (1+\sigma^2)/M) & m \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

수식 (3)은 코드 탐색회로의 상관값을 상관기 탭 길이에 정규화한 결과를 나타낸다. 코드 탐색회로는 $r(0) = \alpha$ 일 때, $m \neq 0$ 인 모든 m 에서 $r(m) < \alpha$ 인 경우에 코드를 획득할 수 있으며 모든 α 에 대해 누적하면 획득확률을 구할 수 있다.

$$P_D = \int_{-\infty}^{\infty} \{P_{(r_0=\alpha)}\}^1 \cdot \{P_{(r_m < \alpha)}\}^{L-1} d\alpha \quad (4)$$

수식 (4)는 코드 탐색회로의 획득확률을 나타내며, 이 때 $P_{(r_0=\alpha)}$ 는 획득지점의 상관값이 α 일 확률, $P_{(r_m < \alpha)}$ 는 미 획득지점의 상관값이 α 보다 작을 확률이며 수식 (5), (6)과 같다.

$$P_{(r_0=\alpha)} = \frac{\sqrt{M}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{M(\alpha-1)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

$$P_{(r_m < \alpha)} = \int_{-\infty}^{\alpha} \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{2\pi(1+\sigma^2)}} \exp\left(-\frac{Mx^2}{2(1+\sigma^2)}\right) dx = \frac{1}{2} \left\{ + \operatorname{erf} \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{1+\sigma^2}} \right) \right\} \quad (6)$$

코드 탐색회로에서 코드 획득과 함께 코드 획득시간이 중요한 성능 기준이 된다. 직접대역 확산 방식의 수신기는 탐색회로가 판단한 획득지점을 기준으로 수신 신호의 역 확산을 수행하고 일정 시간동안 약속된 패턴으로부터 코드 획득 성공을 판단하며 획득이 실패하면 수신기는 탐색회로에 재 동기를 요구한다. 재 동기가 반복될 경우 획득시간은 비례하여 증가하며 획득 실패를 식별하기 위한 추가적 시간이 소요된다.

$$T_{\text{acq}} = \left(\frac{1}{P_D} - 1\right) ML T_c + k T_c + ML T_c = \frac{ML + k - k P_D}{P_D} T_c \quad (7)$$

수식 (7)은 코드 탐색회로가 코드를 획득할

때까지 소요되는 시간을 나타낸 것으로 P_D 는 획득확률, k 는 벌칙상수로 수신기가 획득 실패 식별에 필요한 시간, T_c 는 한 칩 시간을 나타낸다. 탐색회로의 획득확률이 P_D 일 때 획득 성공까지 평균 $1/P_D$ 번 코드 탐색을 시도하며 매번 $ML T_c$ 의 코드 탐색 시간과 $k T_c$ 의 추가 시간이 소요된다.

수식 (7)에서 코드 획득시간은 획득확률과 상관기 탭 길이에 의해 결정되며 획득확률은 상관기 탭 길이의 함수이므로 획득시간 최적화를 위해서는 채널환경에 따른 상관기 탭 길이의 최적화가 필요하다.

III. 제안 알고리즘

코드 탐색회로의 획득확률은 상관기 탭 길이가 길수록 증가하나 탭 길이가 길 경우 코드 탐색 시 상관값 계산 시간이 증가하여 채널환경에 비하여 과도한 길이의 상관기 탭 사용은 코드 획득시간을 필요 이상으로 소요할 수 있다.

제안 알고리즘은 기존 코드탐색에 앞서 수신 채널환경을 추정하고 채널환경에 적합하도록 상관기 탭 길이를 변경함으로써 해당 채널환경에서의 코드 획득시간을 최적화할 수 있다.

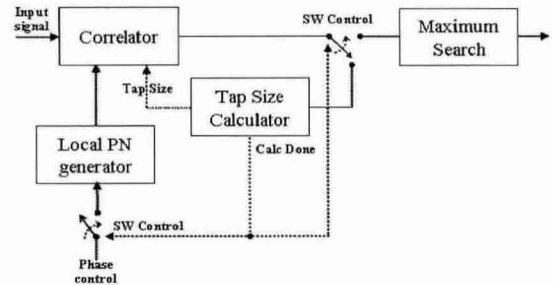


그림 3. 제안 코드 탐색회로(Searcher)의 블록도

그림 3은 본 논문에서 제안한 코드 탐색회로의 구조를 나타낸다. 제안 코드 탐색회로는 기준 PN 코드의 위상을 고정된 상태에서 수신 신호와의 상관값을 구하여 채널환경을 추정하고 상관기 탭 길이를 결정하는 단계와 결정된 상관기 탭 길이를 이용하여 코드 획득지점으로 판단하는 단계로 나뉜다.

채널 추정은 채널환경이 우수할수록 코드 탐색회로의 출력 상관값의 분포가 조밀하게 나타나는 특성을 이용한다. 분산이 σ^2 인 잡음채널에서 상관기 탭 길이가 M인 코드 탐색회로의 상관값은 평균이 0이고 분산이 $(1+\sigma^2)/M$ 인 분포

를 가지므로 상관값 출력의 분산으로부터 채널 환경을 추정할 수 있다.

분산을 이용한 채널 추정 은 AWGN 환경의 수신 특성을 수식적으로 쉽게 분석할 수 있는 장점이 있다. 반면 분산 계산과정에서 상관값의 제공이 필요하여 구현이 복잡하며 상관값을 제공함으로써 각 상관값이 분산에 동일한 영향을 주는 대신 평균과 거리가 멀수록 큰 영향을 주는 단점이 있다[4]. 따라서 제안 알고리즘은 상관값의 분산 대신 상관값의 평균편차(Mean Deviation)를 이용한 채널 추정방법을 사용한다. 상관값의 제공이 필요한 분산에 비하여 평균편차는 각 상관값의 크기부분을 더하는 것으로 쉽게 구현이 가능하며 모든 상관값이 채널 추정에 동일한 영향을 주는 장점이 있다.

$$\begin{aligned}
 MD &= \int_{-\infty}^{\infty} |x - m| \cdot P(x) dx \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} |x| \cdot \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{2\pi(1+\sigma^2)}} \exp\left(-\frac{Mx^2}{2(1+\sigma^2)}\right) dx \\
 &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (8)
 \end{aligned}$$

수식 (8)은 분산이 σ^2 인 채널환경에서 상관기 탭 길이가 M인 코드탐색회로의 평균편차 결과를 나타낸다[5]. x는 코드 탐색회로의 상관값 분포로 분산이 $(1+\sigma^2)/M$ 인 정규분포함수, m은 상관값의 평균, n은 채널 추정에 사용된 표본 수를 나타낸다. 수식 (8)의 $\sqrt{(n-1)/n}$ 는 표본의 수가 크면 1에 수렴하므로 채널 추정을 위한 평균편차도 채널환경과 상관기 탭 길이의 함수인 것을 알 수 있다.

그림 4는 분산이 σ^2 인 채널환경에서 상관기 탭 길이가 M인 코드 탐색회로의 획득확률과 평균편차를 동시에 나타낸 것으로 목표 획득확률을 위해 필요한 평균편차를 알 수 있다. 제안 알고리즘은 목표 획득확률을 위해 상관값의 평균편차를 특정 값 이하로 유지되도록 상관기 탭 길이를 변경한다. 목표 획득확률은 코드 탐색회로의 평균 획득시간 $T_{acq} \approx (MLT_c)/P_D$ 에서 M/P_D 이 최소가 되도록

$\frac{2M}{P_D(2M)} \leq \frac{M}{P_D(M)}$ 를 만족하는 $P_D(M)$ 로 결정하며 $P_D(M)$ 은 상관기 탭 길이가 M인 경우, $P_D(2M)$ 은 상관기 탭 길이가 2M인 경우의 획득확률을 나타낸다.

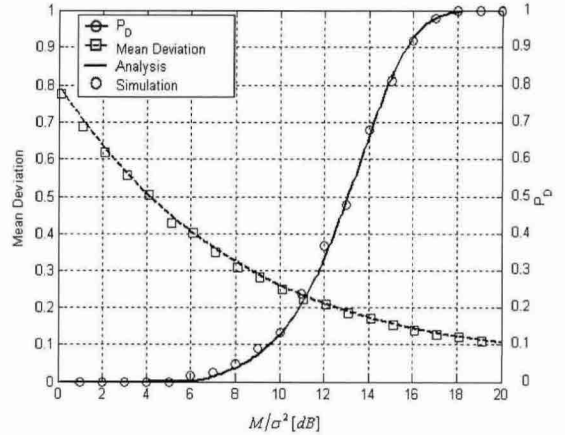


그림 4. 채널환경, 탭 길이에 따른 성능 비교

그림 5는 제안 알고리즘의 상관기 탭 길이 결정기의 구조를 나타내며 계산된 평균편차가 목표 평균편차보다 작을 때까지 상관기 탭 길이를 증가시켜 코드 획득확률을 목표 이상으로 유지시킨다.

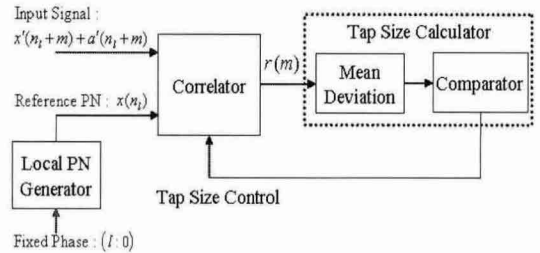


그림 5. 제안 상관기 탭 길이 결정기의 블록도

그림 6은 상관기 탭 길이 결정기의 동작 순서를 나타낸 것이다. 상관기 탭 길이는 최소에서 최대 길이까지 2배 단위로 증가시키고 가능한 최대의 상관기 탭 길이를 이용한 경우에도 계산된 평균편차가 목표 평균편차에 비하여 클 경우 코드 탐색회로는 상관기 탭 길이를 최대로 결정하고 상관기 탭 길이를 결정을 마친다. 예외적으로 확률은 1/L로 매우 낮으나 탭 길이 결정 시에 수신 신호와 기준 PN 간의 위상이 일치될 수 있다. 이를 감지하기 위해 탭 길이 결정기는 측정된 평균편차가 지속적으로 코드 획득 시의 상관값 이상을 유지할 경우에는 해당 위상에서 코드가 획득된 것으로 판단한다.

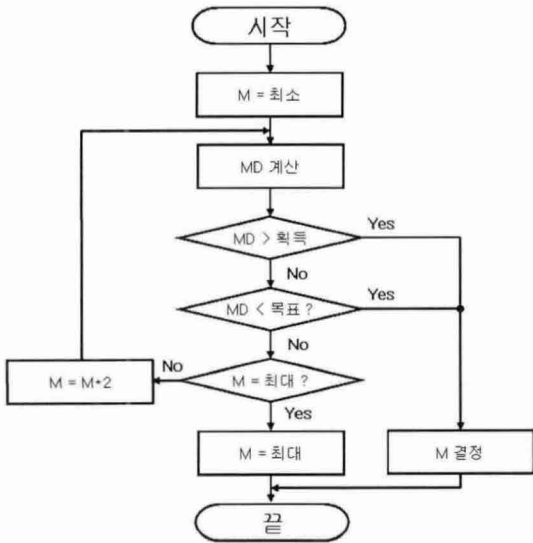


그림 6. 상관기 탭 길이 결정기의 순서도

IV. 성능 평가

표 1은 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위한 모의시험의 조건을 나타낸 것이다. 모의시험의 채널환경은 신호 대 잡음비가 -25 ~ 0 [dB]인 가우시안 잡음 환경, 코드 탐색회로의 상관기 탭 길이는 128, 256, 512 및 1024의 4종류, PN 코드 주기는 40960으로 설정한다.

PN 코드의 칩 시간은 확산 대역폭인 4.096Mcps의 역수이며, 코드 획득지점 결정 후 10개의 10ms 프레임이 오류인 경우 획득 실패로 판단하고 재 동기를 수행하여 획득 실패로 인한 벌칙 상수는 409600칩으로 설정한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

항목	설정 값
신호 대 잡음비	-25 ~ 0 [dB]
윈도우 사이즈	128, 256, 512, 1024 [Chip]
코드 주기	40960 [Chip]
칩 시간	1/4096000 [sec]
벌칙 상수	409600 [Chip]
목표 획득확률	0.5
목표 평균편차	0.18

목표 평균편차의 기준 설정을 위한 코드 획득확률은 $\frac{2M}{P_D(2M)} \leq \frac{M}{P_D(M)}$ 가 되는 $P_D(M)$ 인 0.5로 설정하고 그 때의 평균편차인 0.18을 목표 평균편차로 설정한다. 즉, 상관값의 평균편차가 0.18보다 크면 획득확률을 0.5이하로 추정하여 목표 평균편차보다 작아지도록 상관기 탭 길이를 증가시킨다.

그림 7은 채널환경에 따라 제안 알고리즘에서 결정된 상관기 탭 길이와 적용된 탭 길이에서의 평균편차를 나타낸다. 채널환경이 좋은 경우 짧은 상관기 탭 길이를 사용하고 채널환경이 열악할수록 상관기 탭 길이가 증가시키며 평균편차를 일정 수준 이하로 유지하고 -15dB 보다 열악한 채널환경에서는 최대의 탭 길이를 사용하며 평균편차가 계속 증가함을 알 수 있다.

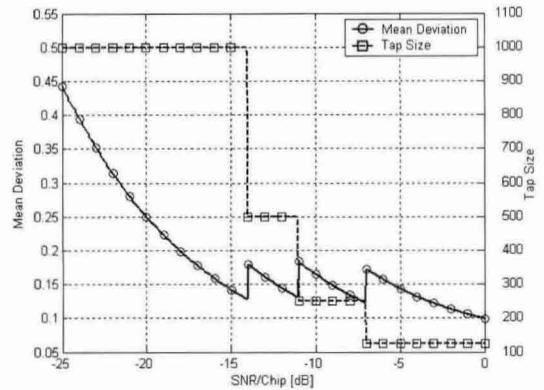


그림 7. 제안 알고리즘의 채널환경에 따른 탭 길이와 평균편차

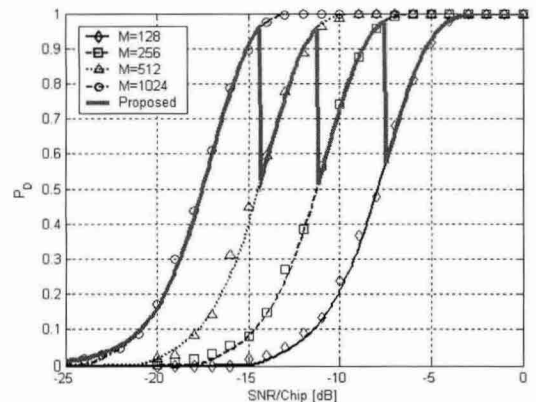


그림 8. 채널환경에 따른 코드 획득확률 비교

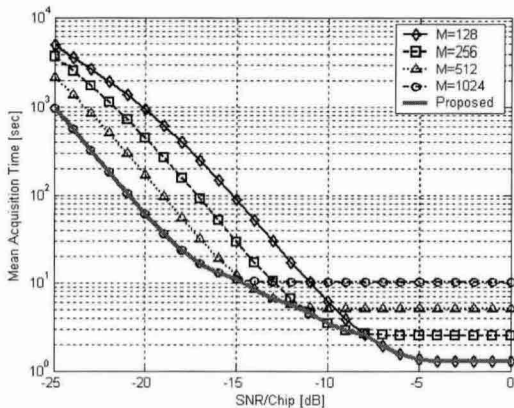


그림 9. 채널환경에 따른 평균 획득시간 비교

그림 8은 채널환경에 따른 제안 알고리즘의 코드 획득확률을 고정된 탭 길이를 사용한 획득확률과 비교한 결과를 나타낸 것으로 일정 이상의 채널에서 0.5 이상의 코드 획득확률을 유지함을 알 수 있다.

그림 9는 채널환경에 따른 제안 알고리즘의 평균 획득시간을 나타낸 것으로 고정된 상관기 탭 길이를 사용한 결과와 비교하여 제안 알고리즘이 최적의 획득시간을 유지함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 대역확산방식의 코드 탐색회로의 코드 획득확률이 채널환경과 상관기의 탭 길이에 의해 결정되는 특성을 이용하여 채널환경에 따라 상관기의 탭 길이를 적응적으로 변경하는 방법을 제안한다. 상관기의 평균편차를 이용하는 방법은 상관기 출력의 크기 값을 누적하는 것으로 제품 계산이 필요한 분산 방법에 비해 적은 계산 량으로 채널환경을 추정할 수 있다.

제안 알고리즘은 상관값의 평균편차로부터 채널을 추정하고 추정된 채널환경에 적합하도록 상관기의 탭 길이를 적응적으로 변경함으로써 고정된 탭 길이를 이용하는 기존 방법에 비해 코드 획득확률 및 코드 획득까지에 필요한 소요 시간을 최적화할 수 있음을 확인 하였다.

참 고 문 헌

[1] S. S. Rappaport, D. M. Grieco, "Spread Spectrum Signal Acquisition: Methods and Technology," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 22,

no. 6, June 1984.

[2] A. Polydoros, C. L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread Spectrum Code Acquisition - Part I : General Theory," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 5, May 1984.

[3] L. Levanon, Radar Principles, New York : John Wiley & Sons, Inc., 1988.

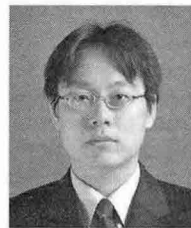
[4] S. Gorard, "Revisiting a 90-year-old debate: the advantages of the mean deviation," *British Educational Research Association Annual Conference*, University of Manchester, Sep. 2004.

[5] R. C. Geary, "Moments of the Ratio of the Mean Deviation to the Standard Deviation for Normal Samples," *Biometrika*, vol. 28, no. 3/4, Dec. 1936

저 자

류 영 재(Young-Jae Ryu)

정회원



2000년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업

2002년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사

2002년 2월~현재 :

국방과학연구소 위성통신체계부

<관심분야> 위성통신, 이동통신