

論文95-32A-7-2

직접시퀀스 확산대역 시스템의 빠른 포착을 위한 새로운 알고리즘

(A New Algorithm for Fast Acquisition for Direct-Sequence Spread-Spectrum Systems)

李明煥*, 李在弘**

(Myeong Hwan Lee, and Jae Hong Lee)

요약

직접시퀀스 확산대역 포착시스템의 빠른 포착을 위한 새로운 직렬 탐색알고리즘과 수신기를 제안하고 그 성능을 분석하였다. 이 방법은 기존의 알고리즘보다 2배이상 포착시간을 단축한다. 積率생성함수와 직접접근법을 이용하여 평균포착시간식을 유도하고 이로부터 계산한 결과를 제시하였다.

Abstract

We have proposed a new fast serial search algorithm and a receiver for direct-sequence spread-spectrum acquisition systems and analyzed its performance. This algorithm achieves faster acquisition by more than two times that of existing algorithm. We have derived equations of the mean acquisition time by using moment generating function and direct approach, and presented numerical results.

I. 서론

직접시퀀스(DS: direct-sequence) 확산대역(SS: spread-spectrum) 시스템의 동기는 포착(acquisition)과 추적(tracking)의 두 단계로 이루어진다. 수신된 PN부호(pseudo-noise code)와 국부적으로 발생된 부호(locally generated code)와의 위상차(phase difference)를 한 칩(chip) 이내로 줄이는 과정을 포착이라 하고 통신이 계속되는 동안 두 PN 부호 사이의 위상차를 더욱 줄이고 동기를 유지시키는 과정을 추적이라 한다. 탐색단위를 셀이라 할 때 포착 과정에서 맨 처음 직면하는 것은 정확한 셀(correct cell)

즉, 포착점의 위치에 대한 확률영역인 부호 불확정 구간(code uncertainty region)이다. 포착은 이 구간내에서 포착점을 찾아내는 과정이며 그 방식은 여러 가지가 있다 [1], [2], [3], [4].

본 논문에서는 직접시퀀스 확산대역 시스템의 포착을 위한 탐색방식 중 직렬 탐색(serial search)방식을 고려한다. 직렬 탐색방식은 수신된 PN부호의 위상에 관한 사전정보(a priori information)의 유무에 따라 비균일 탐색방식(non-uniform search scheme)과 균일 탐색방식(uniform search scheme)으로 나뉘어진다. 사전정보가 좌, 우 대칭인 함수로 모델링되므로 비균일 탐색방식은 부호 불확정구간의 가운데를 중심으로 좌, 우로 탐색한다 [5], [6], [7]. 그러나, 정확한 셀은 부호 불확정구간에서 하나만 존재하고 중심에서 좌, 우 어느 한쪽에 위치한다. 그러므로 정확한 셀이 없는 쪽을 탐색함으로써 소요되는 시간을 고려할

* 準會員, **正會員, 서울大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Seoul National Univ.)

接受日字: 1994年11月3日, 수정완료일: 1995年6月28日

때 좌, 우로 차례 차례 탐색해 나가는 것은 비효율적이다.

본 논문에서는 비균일 탐색방식의 불필요한 탐색과정을 없애기 위해 좌, 우로 탐색하는 부분을 각각 독립적으로 구성하고 각각이 한쪽씩 탐색하되 동시에 탐색하는 방식을 제안한다. 이 방식은 탐색의 방향을 일정하게 유지하고 탐색구간을 반으로 줄임으로써 전체적인 포착성능을 향상시킨다.

II장에서는 제안하는 알고리즘의 탐색방식과 이를 구현하기 위한 수신기의 블럭도를 보인다. 시스템은 단일 적분시간(single dwell time) 포착 시스템이라고 가정한다. III장에서는 적률생성함수(moment generating function)와 직접접근법(direct approach)을 이용하여 시스템 성능의 척도인 평균포착시간을 구한다. IV장에서는 III장에서 얻어낸 수식을 이용하여 모의실험(simulation)한 결과를 보인다.

II. 제안된 알고리즘

제안된 알고리즘에 대한 탐색방식을 그림 1에 보인다.

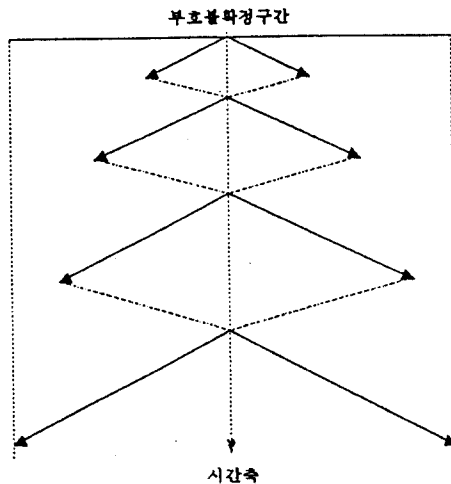


그림 1. 제안된 탐색 방식
Fig. 1. Proposed search scheme.

이 방식은 기존의 절단확장탐색창 탐색방식(broken expanding-window search scheme)과는 달리 좌, 우를 차례로 탐색해나가는 것이 아니라 동시에 탐색하는 방식이다. 이렇게 함으로써 검출기는 각 방향을 지

속적으로 탐색할 수 있고또한 검출기가 탐색해야할 탐색구간도 반으로 줄게되어 포착시간이 짧아진다. 이 방식을 구현하기 위한 수신기 블럭도를 그림 2에 보인다.

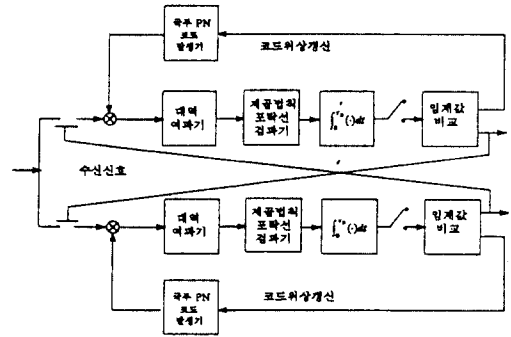


그림 2. 제안된 알고리즘을 구현하기 위한 수신기의 블럭도
Fig. 2. Receiver block diagram for proposed algorithm.

그림 2의 블럭도는 기존의 비동기 검출기를 병렬로 두개 연결한 것과 같은 형태이다. 여기서 각각의 검출기는 가운데를 중심으로 각각 좌, 우로만 탐색을 해 나가되 동시에 탐색하게 된다. 어느 한 검출기가 포착에 성공하면 추적과정을 개시하는 신호를 내보내며 동시에 다른 검출기로의 입력을 끊는다. 두개의 검출기는 서로 독립적으로 동작하고 똑같은 구조와 똑같은 성능을 가지며 포착과정은 서로 독립적이라고 가정한다.

III. 평균포착시간

평균포착시간을 구하기 위해 적률생성함수에 의한 방법과 직접접근법을 이용한다. 포착과정이 마르코프 과정으로 모델링 되므로 적률생성함수는 이에 해당하는 흐름도(flow graph)로부터 얻어낸다^[4]. 직접접근법은 흐름도를 사용하지 않고 수학적으로 평균포착시간식을 유도하는 방법이다^[8]. 두 방법에 의한 분석의 결과는 유사하므로 본 논문에서는 두 방법을 모두 사용하여 수식을 유도하되 계산결과는 직접접근법에 의한 수식으로부터 이끌어낸다.

1. 적률생성함수의 유도

적률생성함수는 탐색과정의 상태전이도(state transition diagram)로부터 유도할 수 있다. 상태전이도를 구하기 위해서 탐색과정을 그림 3에 보인다.

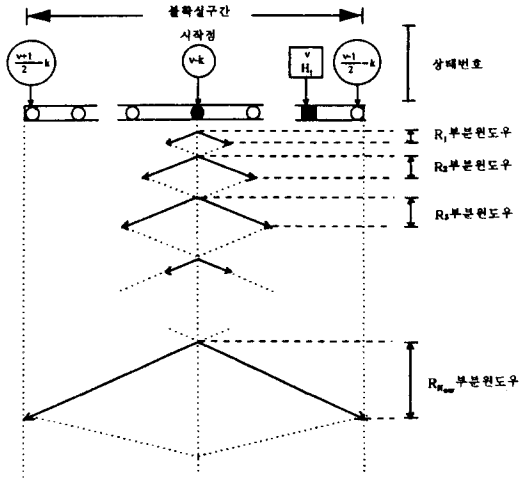


그림 3. 제안된 알고리즘의 탐색과정
Fig. 3. Search procedure for proposed algorithm.

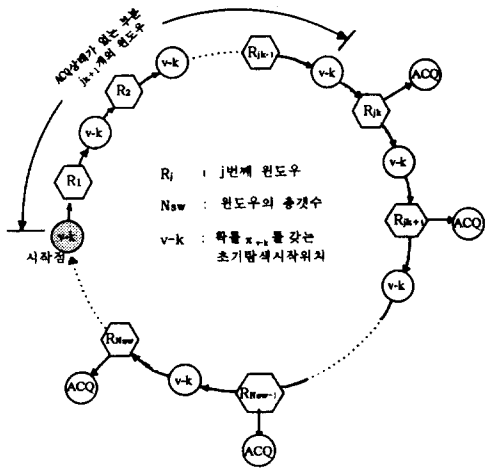
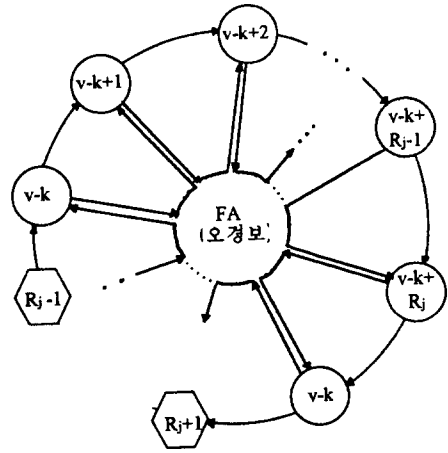
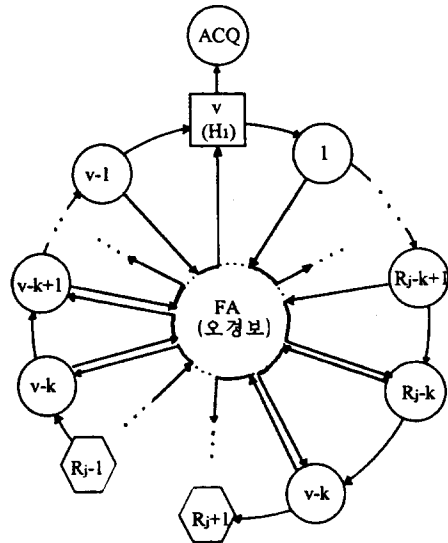


그림 4. 제안된 알고리즘의 상태천이도
Fig. 4. State transition diagram of proposed algorithm.

각각의 탐색창 후의 점선은 되감기(rewind) 과정이며 이 과정에 걸리는 시간은 무시할 수 있다 [8]. 그리고 v 는 H_1 상태가 있는 셀의 번호, H_1 은 포착점이 있는 상태, R_i ($i = 1, \dots, N_{sw}$) 는 개별 탐색창, N_{sw} 는 탐색창의 크기가 전체구간크기의 반이 될 때까지의 탐색창 갯수이자 그때의 탐색창번호이다. k 는 v 로부터의 상대거리이며 $v-k$ 는 탐색을 시작하는 셀의 번호이다. $R_{N_{sw}}$ 탐색창이후의 탐색창은 $R_{N_{sw}}$ 와 같은 크기를 계속 유지한다. 제안된 알고리즘의 상태천이도 (state transition diagram)를 그림 4에 보인다.



(a)



(b)

그림 5. 부분 상태 천이도: $1 \leq j \leq i_k - 1$
Fig. 5. Partial state transition diagram: $1 \leq j \leq i_k - 1$

R_i ($i = 1, \dots, N_{sw}$) 로 표시된 육각형들은 부분 탐색창에 해당하며 $v-k$ 로 표시된 원들은 탐색의 출발점들을 나타낸다. 그러므로 육각형으로부터 원으로의 천이는 각각의 부분 탐색창의 탐색 후 다시 되감기하여 출발점으로 되돌아감을 나타낸다. 포착과정에서 포착점이 있는 상태인 H_1 상태는 하나만 존재하고 탐색창들은 H_1 상태를 포함하는 탐색창과 그렇지 않은 탐

색창으로 구분된다. H_1 상태를 포함하는 첫번째 탐색창의 번호를 j_k 라 할 때 전체 탐색창 중에서 $j_k - 1$ 개의 탐색창은 H_1 상태를 포함하지 않으며 나머지 $N_{sw} - j_k + 1$ 개의 탐색창은 H_1 상태를 포함한다. 그러므로 그림 4에 나타난 바와 같이 오직 j_k 번째 탐색창 이후에서만 포착상태(ACQ)에 도달할 수 있다. $1 \leq j \leq j_k - 1$ 의 경우와 $j_k \leq j \leq N_{sw}$ 의 경우에 대한 부분 상태천이도를 그림 5 a)와 b)에 보인다.

탐색 단위시간 Z 의 함수 $H_{NFA}(Z)$ 를 오경보(false alarm)가 없을 경우 흐름도의 이득(gain), $H_{FA}(Z)$ 를 오경보가 있을 경우의 이득, $H_p(Z)$ 를 오경보에서 되돌아올 경우의 이득, P_{FA} 를 오경보 확률, P_D 를 검출 확률이라고 하자. 그러면 포착점이 없는 셀들을 탐색할 때의 이득은 다음과 같다.

$$H_0(Z) = H_{NFA}(Z) + H_{FA}(Z)H_p(Z) \quad (1)$$

$$= (1 - P_{FA})Z + P_{FA}Z \cdot Z^k$$

포착점을 찾지 못할 경우의 이득은 다음과 같다.

$$H_M(Z) = (1 - P_D)Z \quad (2)$$

포착점을 찾아낼 경우의 이득은 다음과 같다.

$$H_D(Z) = P_D Z \quad (3)$$

이제 H_1 상태가 i 번째 탐색창에 존재할 경우의 흐름도의 이득을 구하면 다음과 같다.

$$F_1(i) = H_D H_0^{S(1, i-1)} \sum_{n=0}^{\infty} \{ H_M^{(N_{sw} - i + 1)} H_0^{S(1, N_{sw})} \}^n \quad (4)$$

$$= \frac{H_D H_0^{S(1, i-1)}}{1 - H_M^{(N_{sw} - i + 1)} H_0^{S(1, N_{sw})}}$$

여기서 $S(m, n)$ 은 다음과 같다.

$$S(m, n) = \begin{cases} \sum_{l=m}^n R_l, & \text{if } m \leq n \\ 0, & \text{if } m > n \end{cases} \quad (5)$$

H_1 상태가 $j \geq i$ 인 j 번째 탐색창에 존재할 경우의 이득을 구하면 다음과 같다.

$$F_2(i, j) = H_M^{(j-i)} H_0^{S(i, j-1)} \quad (6)$$

j 번째 탐색창에서, k 번째 셀에 H_D 상태가 있을 경우는 H_0 상태를 k 번 거친후 H_D 상태에 도달하므로 이때의 이득을 구하면 다음과 같다.

$$F_3(k, j) = \pi_k (H_0^k + H_M H_0^{(R_i - k)}) \quad (7)$$

i 는 H_1 을 처음으로 포함하는 탐색창 번호, N_{sw} 는 전체 탐색수, j 는 초기 시작탐색창 번호, k 는 초기 시작셀 번호, π_k 는 k 셀에서 탐색을 시작할 확률을 나타낸다. 식 (4), (6), (7)로부터 모넨텀 발생률은 다음과 같이 얻어진다.

$$U(Z) = \sum_{i=1}^{N_{sw}} F_1(i) \sum_{j=i}^{N_{sw}} F_2(i, j) \sum_{R_i + 1 \leq k \leq R_i} F_3(k, j) \quad (8)$$

평균포착시간은 다음과 같다.

$$\bar{T}_a = \left. \frac{d(\ln U(Z'))}{dZ} \right|_{Z=1} \quad (9)$$

2. 직접접근법

부호 불확정구간이 q 개의 셀로 구성되고 이 중 포착점이 하나만 존재하는 경우 포착의 과정은 그 포착점을 찾아내는 과정이다. 포착점이 j 번째 셀에 있고 j 번째 셀을 i 번 시험한 후에 즉, i 번 실패한 후에 정확한 검출(correct detection)이 이루어진다고 가정했을 때 포착과정에서 시험된 전체 셀의 수를 $m(i, j)$ 라고 하자. 그러면 포착시간은 틀린 셀을 $m(i, j) - i$ 번 시험하는데 걸리는 시간과 포착점을 $i - 1$ 번 시험하는데 걸리는 시간과 성공적인 시험에 걸리는 시간의 합이다.

틀린 셀을 처리하는데 걸리는 시간, 포착점을 틀리다고 처리함으로써 걸리는 시간, 맞는 검출을 하는데 걸리는 시간을 각각 T_r , T_m , T_d 라하고 특성함수(characteristic function)를 $P_{T_r}(j, \Omega)$, $P_{T_m}(j, \Omega)$, $P_{T_d}(j, \Omega)$ 라 하면 포착시간 T_a 의 특성함수는 다음과 같다 [8]

$$P_{T_a}(j, \Omega) = \sum_{i=1}^{\infty} P_d (1 - P_d)^{i-1} \sum_{j=1}^i P_c(j) \{ P_{T_r}(j, \Omega)^{m(i, j) - i} P_{T_m}(j, \Omega)^{i-1} P_{T_d}(j, \Omega) \} \quad (10)$$

여기서 $P_c(j)$ 는 포착점의 위치에 대한 사전정보이고 P_d 는 검출기의 검출확률이다. 단일적분시간 포착시스템에서 T_m , T_d , T_r 의 확률밀도함수 $p_{T_m}(t)$, $p_{T_d}(t)$, $p_{T_r}(t)$ 는 다음과 같다 [8]

$$p_{T_m}(t) = p_{T_d}(t) = \delta(t - \tau_d)$$

$$p_{T_r}(t) = (1 - P_f)\delta(t - \tau_d) + P_f\delta(t - \tau_d - \tau_p) \quad (11)$$

여기서 P_f 는 검출기의 오경보확률이며 τ_d 와 τ_p 는

각각 적분시간(dwelling time)과 오경보시의 벌칙시간(penalty time)이다.

성능의 척도인 평균포착시간을 구하기 위해 식(10)으로부터 T_d 의 1차 모멘트를 구하면 다음과 같다^[8].

$$E(T_d) = \sum_{j=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{j-1} \sum_{i=1}^q P_c(i) \cdot \{ [m(i, j) - i] E(T_r) + (i-1)E(T_m) + E(T_d) \} \quad (12)$$

단일적분시간 포착 시스템에서는 $E(T_m)$, $E(T_d)$ 가 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E(T_m) &= E(T_d) = \tau_d \\ E(T_r) &= \tau_d + P_f \tau_p \end{aligned} \quad (13)$$

시스템에는 1개의 포착점과 $q-1$ 개의 틀린 셀이 존재하므로 q 가 커지면 포착점과 틀린 셀을 시험하는 데 걸리는 평균시간의 차가 크지 않게 된다. 즉, $P_f \tau_p \approx 0$ 이고,

$$E(T_d) = E(T_m) \approx E(T_r) \quad (14)$$

이다. 식(12)와 식(14)로부터 다음이 얻어진다^[8]

$$E(T_d) \approx \sum_{j=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{j-1} \sum_{i=1}^q P_c(i) m(i, j) E(T_r) \quad (15)$$

제한된 알고리즘의 총탐색길이는 $L_k < |j|$ 인 k 번째 탐색창까지의 각 탐색길이들의 합과 정확한 셀을 i 번 놓쳤을 때 각 탐색길이들의 합과 j 만큼의 탐색길이를 더한 것이 된다. 총탐색길이는 다음과 같다.

$$m(i, j) = SL_{k+i-1} + j \quad (16)$$

여기서 SL_k 는 다음과 같다.

$$SL_k = \sum_{n=0}^k L_n, \quad SL_0 = 0 \quad (17)$$

이것은 L_k 번째 탐색창까지의 각 탐색길이들의 총합이다. 분석의 편의를 위해서 등확장(equi-expanding) 탐색창이고 그 길이는 다음과 같다고 가정한다.

$$L_n = \frac{nq}{2N} \quad (18)$$

여기서 n 은 탐색창 번호, N 은 $L_n = q/2$ 일때의 n 값을 나타낸다.

검출/확인 논리(detection/verification logic)에 관계없이 탐색 전략(search strategy)에만 의존하는 항을 만들기 위하여 평균포착시간을 잘못 포착된 셀을

찾는데 평균시간 $E(T_r)$ 로 나눈 정규화 평균포착시간을 정의한다. 식(15)로부터 정규화 포착시간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_1(P_d) &= \sum_{j=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{j-1} \sum_{i=1}^{q/2} P_c(i) \cdot [SL_{k+i-1} + j] \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{i-1} \sum_{j=1}^{q/2} P_c(j) \cdot [SL_{k+i-1}] \\ &\quad + \sum_{i=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{i-1} \sum_{j=1}^{q/2} P_c(j) \cdot j \end{aligned} \quad (19)$$

여기서 두번째 항의 첫번째 합은 1이다. 두번째 합은 $P_c(\cdot)$ 가 삼각형함수이면 $q/12$ 이 되고 정규화 평균포착시간식은 다음과 같다.

$$F_1(P_d) = \sum_{i=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{i-1} \sum_{j=1}^{q/2} P_c(j) \cdot [SL_{k+i-1}] + q/12 \quad (20)$$

$P_c(\cdot)$ 가 표준편차(standard deviation)가 σ 인 절단 가우시안함수이면 $0.5 \cdot \sigma\sqrt{2/\pi}$ 이 되고 정규화 평균포착시간식은 다음과 같다.

$$F_1(P_d) = \sum_{i=1}^{\infty} P_d(1-P_d)^{i-1} \sum_{j=1}^{q/2} P_c(j) \cdot [SL_{k+i-1}] + 0.5 \cdot \sigma\sqrt{2/\pi} \quad (21)$$

IV. 계산결과

그림 6에서 계산에 사용된 사전정보의 형태를 보인다. 사전정보는 선형함수로 삼각형함수, 비선형함수로 표준편차 σ 가 각각 $q/6$, $q/10$ 인 절단가우시안함수를 사용했다. 그림 7에서 탐색횟수에 따른 정규화 평균포착시간을 보인다. 탐색횟수는 탐색창의 크기를 증가시킬때 그 크기가 전체구간크기의 반이 될때까지의 탐색창 갯수이다. 그림 7 a)에서 사전정보가 삼각형함수인 경우 제한된 알고리즘의 정규화 평균포착시간을 보인다. P_d 값이 0.7이상이면 탐색횟수가 1일때 가장 작은 평균포착시간을 갖지만 P_d 값이 0.6이하이면 최적 탐색횟수가 존재함을 알 수 있다. 포착점이 탐색구간의 중심에 가까이 있을 확률이 높으므로 만약 포착점에서 포착하지 못하면 다음 포착점에 도달하는데 걸리는 시간이 탐색횟수가 2일때보다 1일때까 더 길다.

그림 7 b)와 c)에서 사전정보가 표준편차 σ 가 각각 $q/6$, $q/10$ 인 절단 가우시안함수일때 제한된 알고리즘의 정규화 평균포착시간을 보인다. 탐색횟수에 따른 정

규화 평균포착시간이 그림 7 a)의 사전정보가 삼각형 함수일때와 비슷한 경향을 가짐을 알 수 있다. 사전정보가 정확히 주어질수록 포착시간은 더 짧아짐을 알 수 있다. 즉, 표준편차가 $q/6$ 일때보다 $q/10$ 일때가 포착시간이 더 짧음을 볼 수 있다.

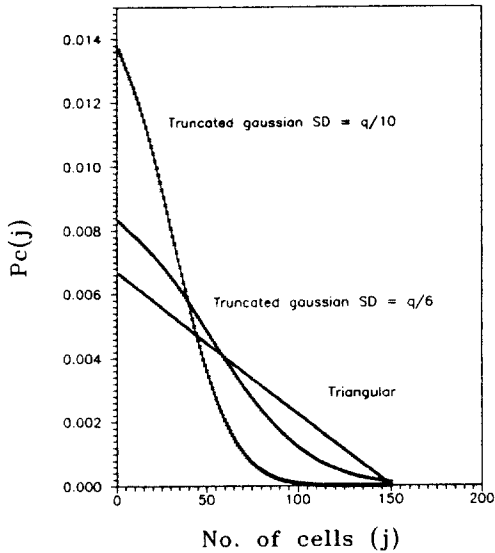
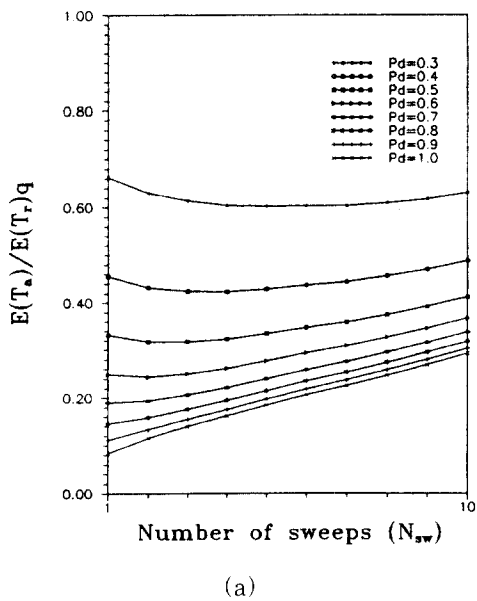
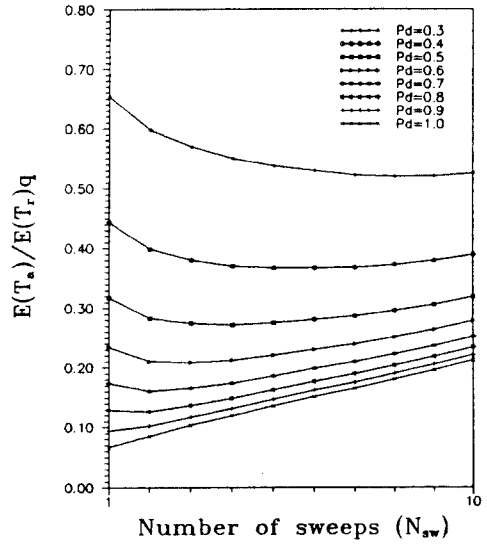


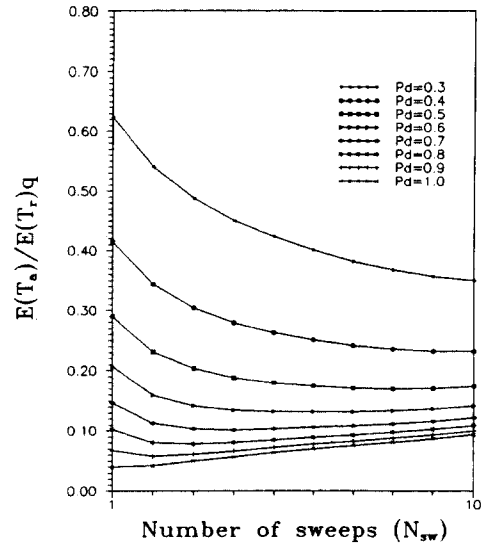
그림 6. 분석에 사용된 사전정보의 형태
Fig. 6. a priori information distribution used in analysis.



(a)



(b)



(c)

그림 7. 삼각형 분포에 대한 제안된 알고리즘의 성능
Fig. 7. Performance of proposed algorithm under triangular distribution.

그림 8에서 각 사전정보의 형태에 따른 정규화 평균 포착시간의 차이를 보이기 위해 탐색횟수가 2인 경우를 예로들어 결과를 보인다. 탐색횟수가 1일때는 확장탐색창 탐색방식이 아닌 Z형 탐색방식이므로 탐색횟수가 2인 경우를 예로 들었다.

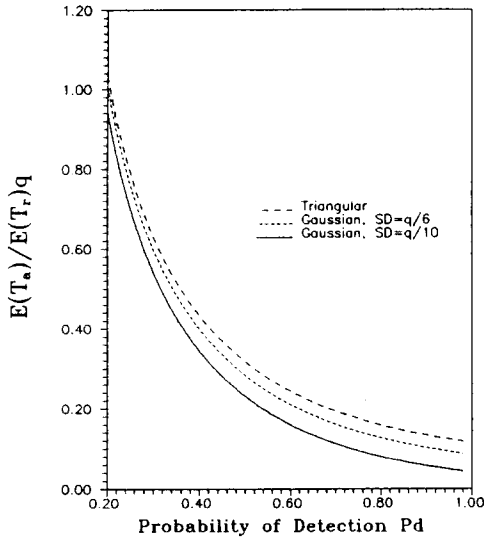


그림 8. $N_{sw} = 2$ 일 때 검출확률에 따른 각 사전 정보에서의 포착시간 비교
 Fig. 8. Acquisition time comparison for different distribution of probability of detection for $N_{sw} = 2$.

기) 알고리즘의 평균포착시간을 비교한다. 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 최소한 절반미만의 평균 포착시간을 가지며 탐색횟수가 증가할 수록 비는 더욱 줄어든다.

V. 결 론

기존의 포착알고리즘이 갖는 불필요한 탐색과정을 없앴으로써 포착시간을 줄이는 새로운 포착방식과 그 수신기를 제안하였다. 적률생성함수와 직접접근법을 사용하여 제안된 알고리즘의 평균포착시간식을 유도하고 직접접근법을 사용하여 평균포착시간을 계산하였다. 검출기의 검출확률 P_d 에 따라 평균포착시간이 가장 작게 되는 최적의 탐색횟수가 존재함을 보였고 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 절반미만으로 포착시간이 줄어들음을 보였다. 본 논문에서 제안한 포착방식을 위해서는 수신기가 검출기 두개를 사용하나 적용되는 포착방식이 다르기 때문에 기존의 포착방식을 따르는 검출기 한개를 사용한 수신기는 물론 검출기 두개를 사용하되 기존의 포착방식을 적용한 수신기보다도 우수하다.

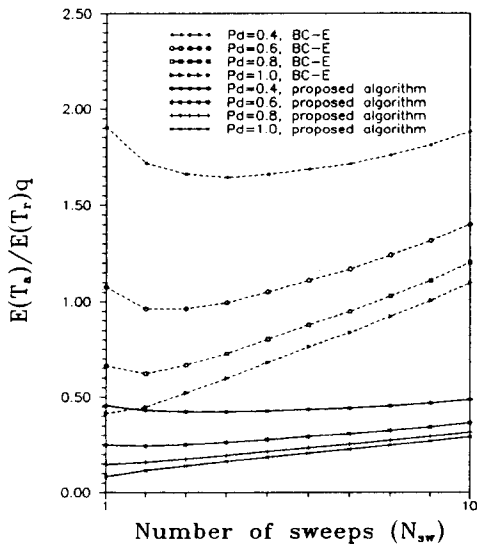


그림 9. 삼각형 분포에 대한 제안된 알고리즘과 BC-E 알고리즘의 성능비교
 Fig. 9. Performance comparison between proposed algorithm and BC-E algorithm under triangular distribution.

그림 9에서 사전정보가 삼각형함수일때 제안된 알고리즘과 기존의 절단 중심확장 탐색창 ('BC-E'라고 표

참 고 문 헌

- [1] W. R. Brown, "Performance analysis for the expanding-search PN acquisition algorithm," IEEE Trans. Commun., vol. COM-30, pp. 424-435, Mar. 1982.
- [2] A. Weinberg, "Generalized analysis for the evaluation of search strategy effects on PN acquisition performance," IEEE Trans. Commun., vol. COM-31, pp. 37-49, Jan. 1983.
- [3] A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread-spectrum code acquisition, Part I & II," IEEE Trans. Commun., vol. COM-32, pp. 542-560, May. 1984.
- [4] A. Polydoros and M. K. Simon, "Generalized serial search code acquisition: The equivalent circular state diagram approach," IEEE Trans. Commun., vol. COM-32, pp. 1260-1268, Dec. 1984.
- [5] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A.

- Scholtz, B. K. Levitt, Spread Spectrum Communications, vol. III, Computer Science Press, 1985.
- [6] D. M. DiCarlo and C. L. Weber, "Statistical performance of single dwell serial-synchronization systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 1382-1388, Aug. 1980.
- [7] V. M. Jovanovic, "Evaluation of the single dwell serial search strategies for spread spectrum code acquisition," Proc. Milcom '86, Monterey, CA, pp. 31.5.1-31.5.5, Oct. 1986.
- [8] V. M. Jovanovic, "Analysis of strategies for serial-search spread-spectrum code acquisition - direct approach," IEEE Trans. Commun., vol. COM-36, pp. 1208-1220, Nov. 1988.

저 자 소 개



李明煥(準會員)

1992년 서울대학교 전자공학과 학사. 1994년 서울대학교 전자공학과 석사. 1994년 부터 현재 까지 LG정보통신(주) 안양연구소에서 근무. 주관심분야는 확산대역통신, 디지털통신, 채널코우

딩



李在弘(正會員)

1976년 서울대학교 전자공학과 공학사. 1978년 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1986년 미시간대학 전기공학 및 컴퓨터공학과 공학박사. 1978년~1981년 해군사관학교 교수부 교관. 1987년~현재 서울대학교 공과대학 전자공학과, 현재 부교수. 1991년~1992년 AT&T Bell연구소, 연구원. 1992년~현재 서울대학교 뉴미디어통신공동연구소 운영부장 역임, 현재 제1연구부장(이동통신, 위성통신 및 방송분야). 관심분야는 채널부호화, 변복조, 확산대역 및 그 응용, IVHS.