

가변 구조를 갖는 순차 예측 방법을 이용한 m 계열 신호의 고속 포착

정회원 현 광 민*, 박 상 규**

Rapid Acquisition of m-sequence Signals by Sequential Estimation with Flexible Structure

Kwangmin Hyun*, Sang Kyu Park** *Regular Members*

요 약

본 논문은 고속으로 m 계열 신호를 포착하기 위하여 가변 구조를 갖는 순차 예측 포착 시스템을 제안하고 그 성능을 분석한 것이다. 고속 포착을 위해 예측기 내부 레지스터들의 초기값으로 저장되는 수신 PN 칩(chip)들 중에 1개의 오류를 가진 경우 다수의 국부 PN 부호 발생기를 이용하여 이 오류를 정정하고 부호 포착 성능을 개선한다. 제안된 시스템에서 예측 재생된 각각의 국부 PN 부호들과 수신된 PN 부호간의 해밍 거리는 설정된 경계값과 비교되어 바른 경로일 가능성이 높은 경로 선택과 부호 포착 선언에 사용된다. 시스템의 성능을 확인하기 위해 신호 흐름도 기법을 적용하여 검출 확률과 오 경보 확률에 의해 결정되는 평균 포착 시간을 계산한다. 본 논문에서 제안한 포착 시스템은 PN 부호 포착 시스템에 일반적으로 널리 사용되는 정합 필터를 가변 구조로 변형하여 사용함으로써 효율적이고 고속으로 부호 포착을 수행할 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

This paper analyzes a sequential estimator with flexible structure for rapid acquisition of the m-sequence signals. If the received PN chips stored in the estimator's internal registers as initial loading values include one error, this chip with error can be corrected through multiple local PN code generators to achieve high-speed acquisition performance. Hamming distance between regenerated local PN codes from the proposed system and received PN code is compared with given threshold to choose a possible correct path and to declare success of the code acquisition. Using signal flow graph, average acquisition time that depends on detection and false alarm probability is calculated. By modifying generally used matched filter structure for PN code acquisition, the proposed system provides flexible structure and rapid acquisition process.

1. 서 론

무선 통신의 발달은 이동 통신 기술의 발달과 그 맥을 같이하고 있다. 특히, 1990년대 이후에 상용화된 IS-95 이동 통신 시스템은 확산 대역 통신 방식을 적용하여 최초로 상용화시킨 무선 통신 시스템이다. 이 시스템이 추구하는 것은 개인별 통신 보안과 제한된 주파수 자원을 이용하여 최대의 서비스

용량을 갖도록 하는 것이다. 이 시스템은 음성 서비스를 제공하기 위해 설계된 것으로 회선 교환(circuit switching) 방식을 채택하였다. 2000년대에는 이러한 상용 이동 통신 기술을 기반으로 광대역 멀티 미디어 서비스를 제공하기 위한 제 3세대 IMT-2000 기술을 선보이기 시작하였으며, 이 기술은 데이터 중심 전송이 필수적인 요소이기 때문에 패킷 교환(packet switching)을 중요한 기본 기술로

* (주)리코스 (kmhyun@reakosys.com),

** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 (skpark@hanyang.ac.kr)

논문번호 : 010318-1105, 접수일자 : 2001년 11월 5일

※ 이 논문은 2000년 한양대학교 교내 연구비 지원으로 연구되었음.

하고 있다. 또한, 3세대 이동 통신 기술은 확산 대역 통신 방식을 선택하여 뛰어난 보안성 제공과 서비스 용량의 증가 그리고 열악한 이동 통신 환경에서의 안정적인 통신 서비스 제공을 목표로 한다^[1].

확산 대역 통신 방식에서 동기 포착은 2개의 과정으로 구성되는데 첫째가 초기 포착(initial acquisition)이고 둘째가 추적(tracking)이다. 포착된 PN 부호는 정확한 시간 동기를 위해 추적을 수행하는데, 포착이 잘못된 경우에는 상당한 시간을 추적에 사용하게 되고, 실패할 경우 다시 포착을 수행함으로써 이 때 발생하는 시간 소요는 시스템의 성능에 영향을 주게 된다^{[1][2]}.

PN 부호의 동기 포착 방법을 개선하기 위한 연구는 과거부터 계속해서 수행되어져 왔다. 동기 포착 방식 중에서 순차 예측(sequential estimation) 방식은 PN 부호의 특성을 이용하여 PN 부호 발생기 단수만큼의 수신된 데이터 열을 이용하여 현재 PN 부호의 발생 위치를 예측하기 때문에 구조가 간단하고 고속 동기 포착이 가능하나 낮은 신호 대 잡음비에서 동작이 불안해질 수 있는 요소를 가진다. 또한, 예측기에 수납되는 초기 값들에 오류가 발생하면 필연적으로 예측이 잘못된다^{[1][2][3]}. 직렬 탐색(serial search) 방식은 수신기에서 발생시킨 국부 PN 부호 발생기의 부호를 이용하여 수신 신호를 역확산 시킨 후 일정 시간동안 적분하여 동기 포착이 이루어졌는지 여부를 확인한다. 이 방식은 적분 구간을 길게 했을 경우 포착 확률(detection probability)이 높아지지만 평균 포착시간(average acquisition time)이 길어지게 된다^{[1][2][4]}. 정합 필터 상관기를 이용한 방식은 수신기에서 발생시킨 PN 부호를 이용하여 수신 신호를 역확산 시키면서 동기 포착 여부를 동시에 수행하는 방식으로 정합 필터의 단수(stage)를 증가시킴으로써 포착 성능을 높일 수 있으나, 여전히 포착 시간이 길고 구조가 복잡해지는 단점을 가지고 있다^{[1][2][5]}.

이러한 PN 부호 포착 방식들 가운데 상용화된 확산 대역 통신 시스템에서는 일반적으로 정합 필터 상관 방식을 채택하고 있으며, 여러 개의 정합 필터 상관기를 사용하여 효율적인 부호를 포착할 수 있도록 한다. 그러나, 회선 교환을 기본으로 하는 통신 시스템에서는 한번 동기 포착이 이루어지면 일정 시간동안 동기를 유지할 수 있어 안정적 성능을 가진 정합 필터 상관기를 선택하는 것이 최적일 수 있으나, 패킷 교환 시스템으로 전환되면서 광대역 전송을 위해 포착 성능뿐만이 아니라 포착

에 필요한 시간을 줄이는 것도 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한, 제한된 주파수 대역 내에서 구현 가능한 시스템 구현 기술을 이용하여 광대역 데이터를 전송하기 위해서는 처리 이득의 손실은 불가피하고, 따라서 동기 포착 기회 제공을 위한 수신 신호의 신호 대 잡음비를 높일 수밖에 없다. 그러므로 이동 통신 환경에서 안정적이고 고속으로 동기를 포착하기 위해서는 수신되는 신호의 강도에 따라 순차 예측 방식을 이용할 수 있을 정도로 충분히 수신 신호의 세기가 큰 경우에는 이 방법을 이용하여 고속 포착을 수행하고, 신호 세기가 작아 순차 예측 방식을 사용할 경우 성능의 저하가 발생할 때에는 정합 필터를 이용한 동기 포착 구조로 변경하여 안정적인 동기 포착을 수행함으로써 상호 보완적이고 신뢰성 있는 포착 시스템을 구현할 수 있다.

본 논문에서는 가변 가능한 구조를 갖는 순차 예측 방식을 이용하여 m 계열을 사용하는 시스템의 동기 기술 구현을 위한 효율적인 고속 동기 포착 방식을 제안하고 그 성능을 평가한다. 제안된 동기 포착 시스템의 성능 평가 척도로서 평균 포착 시간을 이용한다. 평균 포착 시간은 검출 확률과 오경보 확률에 의해 결정된다. 이 시간을 계산하기 위해 신호 흐름도 기법을 사용한다.

제 II장에서는 제안된 시스템의 구조를 살펴보고, 제 III장에서는 포착 모델을 해석하여 검출 확률, 오경보 확률 그리고 평균 포착 시간을 계산한다. 제 IV장에서는 수치 해석을 통한 포착 성능을 분석하고, 마지막으로 제 V장에서는 결론을 도출하고 향후 연구 방향에 대하여 논한다.

II. 시스템 구조

제안된 시스템에서는 초기 동기 포착 과정에서 빠른 동기 포착에 필요한 충분한 신호 대 잡음비를 확보하고 있음에도 불구하고 직렬 탐색 방법이나 정합 필터 상관기를 사용하기 때문에 불가피하게 소요되는 포착 시간을 줄이기 위하여 정합 필터 상관기 방식과 순차 예측 방식을 복합적으로 구성하였다. 광대역 신호를 전송하기 위해서는 시스템 동기를 위한 파일럿(pilot) 신호를 다른 신호와 섞이지 않도록 전송하거나, 낮은 처리 이득을 갖는 경우 이를 보상하기 위해 송신 신호 출력을 높이기 때문에 수신 신호 대 잡음비가 비교적 높은 경우를 가정한다. 그러나, 이러한 경우에도 신뢰성 있는 데이터 복구를 위한 신호 대 잡음비보다 여전히 낮은 상태

이고, 가산 백색 가우시안 잡음(additive white gaussian noise) 환경과 다중 경로 페이딩(multipath fading) 환경에서의 비트 오류 확률(bit error probability)은 비슷한 성능을 보인다^[6]. 동기 방식을 이용하여 신호를 복조할 경우 혹은 반송파나 비트 동기에 필요한 충분한 신호 대 잡음비를 갖고 있는 경우에도 칩 시간 동기(chip time synchronization)를 충분히 예측할 수 있고, 시간차로 인한 성능 저하를 무시할 수 있으므로, 본 논문에서는 가산 백색 가우시안 잡음 채널에서 칩 동기가 이루어졌다고 가정한다. 이 경우 순차 예측 방법은 현재 송신되고 있는 PN 부호 발생기의 위상 상태를 정확하고 빠르게 예측할 수 있다.

그림 1은 제안된 확산 대역 통신 시스템의 순차 예측을 이용한 동기 포착 방법을 나타내는 블록도이다. 이 시스템은 순차 예측 모드(sequential estimation mode)와 확인 모드(verification mode)로 구성되며, 사용되는 PN 부호 발생기는 m 계열(m-sequence) 발생기이다. 이 PN 부호 발생기는 LFSR(Linear Feedback Shift Register)구조로 m개의 단(stage)을 가지고 있으며 순회 주기 n은 $2^m - 1$ 의 길이가 된다. m 계열 PN 부호 발생은 현재 각 단에 남아있는 값들이 순차적으로 다음 PN 신호가 되므로 정확한 데이터를 m개 수신한 경우 이 데이터들을 초기값으로 한 m계열 PN 부호 발생기의 다음 PN 부호는 남아있는 PN 부호 발생기 레지스터(register)단의 값과 일치하는 특성을 갖는다^{[1][2]}.

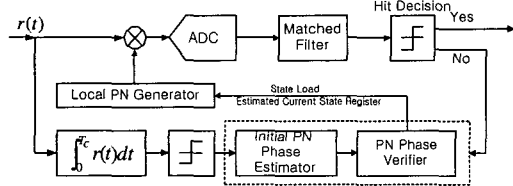


그림 1. 순차 예측 방법을 이용한 포착 시스템

예측 모드에서는 수신되는 신호를 칩(chip) 시간 동안 적분하여 경판정(hard decision)한 후 그림 2에서와 같이 순차 예측에 필요한 m개의 데이터를 만들어 이것을 원 경로 국부 PN 부호 발생기(original path local PN code generator)의 각 단(stage)에 싣고, 나머지 m개의 수정 경로(modified path) 국부 PN 부호 발생기들에 각 레지스터의 값을 각각 반전(inverting) 시키면서 차례로 전이시킴으로써 이 값들 중 1개의 오류를 수정할 수 있는

기능을 갖도록 초기 수납(initial loading)한다. 그러므로, 이 시스템은 최초로 수신된 m개의 데이터 중 1개 이하의 오류가 발생했을 경우 총 m+1개의 국부 PN 부호 발생기중 정확한 국부 PN 부호 발생 경로가 반드시 존재할 수 있도록 고안된 것이다. 초기 수납된 데이터는 m번 순회한 후 다음 수신되는 m개의 데이터와 각 경로들에서 PN 부호 발생기에 남아 있는 레지스터 값들과 해밍 거리를 비교한다. 만일, m번 이하로 순회를 시킨 경우 초기 수납한 값들과 일부 일치하게 되어 각 PN 부호 발생 경로들간, 그리고 새로 수신되는 데이터들과 현재 국부 PN 부호 발생기들의 레지스터에 남아 있는 값들은 확률적으로 서로 독립이 되지 못하므로 PN 부호 발생을 정확히 예측하기가 어렵게 된다.

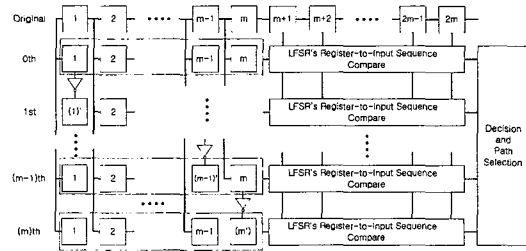


그림 2. 순차 예측기 구조

각 국부 PN 부호 발생기들의 레지스터 값들과 추가로 수신한 m개의 PN 부호는 각각 해밍 거리가 비교되고, 각 경로에서 가장 작은 해밍 거리를 갖고 지정된 선택 경계값(selection threshold, $m - \gamma_1$)보다 클 경우 가능성 있는 경로로 선택하게 된다. 이때, 이들 각 비교치는 동률(equal)을 가질 수 있으므로 동률을 갖는 경로중 한 개를 임의로 선택하여 다음 모드를 진행한다.

선택된 경로는 송신 PN 부호 발생기와 동기가 이루어진 국부 PN 부호 발생기일 가능성이 높지만 잘못된 선택일 수 있으므로 오 경보 확률을 줄이기 위해 그림 3과 같이 확인 모드를 추가로 수행한다. 이때에도 앞서 비교된 m개의 데이터와 독립을 유지하기 위해 새로이 m개의 데이터를 받고, 선택된 경로도 m번의 순회를 거친 다음 비교하여 해밍 거리가 검증 경계값(verification threshold, $m - \gamma_2$)보다 클 경우 포착을 선언하게 된다. 그림 3은 선택된 경로의 PN 부호 발생기 레지스터 값들과 새로 수신된 m개의 PN 부호를 비교하여 검증 경계값과 비교하는 구조를 보여준다.

포착이 선언된 경우, 보다 긴 시간의 관찰 시간을 두어 정확히 포착이 선언되었는지를 확인하게 되는데, 본 논문에서는 관찰을 위하여 정합 필터 상관기를 사용한다. 이 상관기는 수신된 신호를 q 개의 비트로 양자화한 신호를 이용하여 연판정을 수행한다. 이 경우 양자화 잡음으로 인하여 성능이 저하되는 것을 방지하기 위해 충분한 양자화 비트 수를 가져야 하고, 정합 필터 상관기의 단수는 PN 부호의 순회 길이에 따라 충분한 길이를 확보하여야 오경보 확률을 줄일 수 있다¹⁵⁾. 정합 필터 상관기 구조를 고려해 볼 때, 예를 들어, 128단을 가지는 정합 필터 상관기가 4 비트의 양자화 레벨을 가지는 경우 최소 512개 이상의 레지스터를 보유하게 된다. 따라서, 레지스터 단수 m 이 15인 m 계열 PN 부호 발생기는 15개의 레지스터로 구성되므로 이 정합 필터 상관기를 이용한 경우 20개 이상의 m 계열 PN 부호 발생기를 구성할 수 있어 본 논문에서 제안하는 구조를 효과적으로 구현할 수 있다.

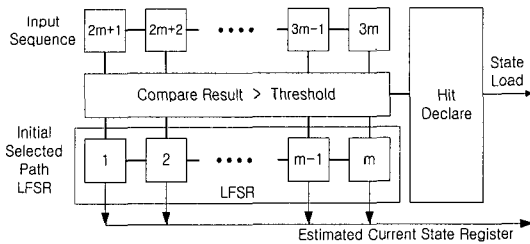


그림 3. 확인 모드에서 사용되는 비교기 구조

III. 포착 모델 분석

1. 포착 과정 모델 확률

가산 백색 가우시안 잡음 채널에서 BPSK 변조 방식을 이용할 경우, 이상적으로 수신된 PN 부호 각각의 칩 오류 확률(chip error probability)은 다음과 같이 계산된다¹⁶⁾.

$$P_e = Q(\sqrt{2E_c/N_0}) \quad (1)$$

여기서 E_c 와 N_0 는 각각 칩 당 에너지와 잡음의 단축 전력 스펙트럼 밀도를 나타내며 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$ 이다.

그림 4는 PN 부호 동기를 포착하는 과정을 각 단계별로 세분화시켜 나타낸 것이다. 국부 PN 부호 발생기 경로들 중 1개가 바른 경로이면 수신된 m

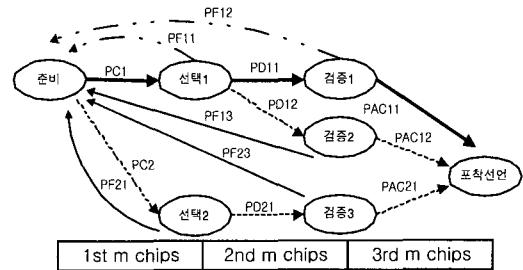


그림 4. 제안된 모델의 동작 수행 과정

개의 데이터와 바른 경로의 PN 부호 발생기에 남아 있는 레지스터 값들은 상당한 상관 관계를 가지고, 나머지 경로들의 레지스터 값들과는 서로 상관 관계가 존재하지 않는다. 그러므로, 바른 경로를 통하여 포착이 이루어지는 경우의 확률은 수신된 데이터들의 비트 오류 확률을 이용하고, 틀린 경로를 통해 포착 과정이 진행되는 경우에는 랜덤 신호들의 비교 확률이 된다. 그림 4에 정의된 PN 부호 동기 포착을 수행하는 각 과정에서의 확률은 다음과 같이 계산된다.

- 1) $m+1$ 개의 국부 PN 부호 발생기들 중에 바른 경로가 존재하는 경우

처음 수신한 m 개의 PN 부호중 1개 이하의 오류를 가졌을 때 $m+1$ 개의 국부 PN 부호 발생기 경로중 반드시 1개의 정확한 PN 부호 발생기가 존재한다. 이때 PN 부호 동기 포착 과정에서 나타나는 확률은 다음과 같다.

- (1) 첫 번째 수신한 m 개의 입력 데이터 중 1개 이하의 오류가 발생하여 국부 PN 부호 발생기의 초기 수납할 때 반드시 바른 경로가 존재할 확률 P_{C1} 은 식(2)와 같다.

$$P_{C1} = \sum_{k=0}^m \binom{m}{k} P_e^k (1-P_e)^{m-k} \quad (2)$$

- (2) 두 번째 입력된 m 개의 데이터 중 일부 오류가 발생하고, 해밍 거리 비교 결과가 선택 경계값 $m-r_1$ 보다 커 바른 경로를 선택하는 경우의 확률 P_{D11} 은 식(3)와 같다.

$$P_{D11} = \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} P_e^i (1-P_e)^{m-i} - P_{Err} \quad (3)$$

- (3) 두 번째 입력된 m 개의 데이터 중 일부 오류

가 발생하고, 비교 결과가 선택 경계값 $m-\gamma_1$ 보다 크지만 틀린 경로를 선택하는 경우의 확률 P_{D12} 는 식(4)와 같다.

$$P_{D12} = P_{Err} \quad (4)$$

(4) 두 번째 입력된 m 개의 데이터 중 일부 오류가 발생하고, 선택 경계값 $m-\gamma_1$ 을 넘지 못하여 경로를 선택하지 않는 경우의 확률 P_{F11} 은 식(5)와 같다.

$$P_{F11} = 1 - (P_{D11} + P_{D12}) \quad (5)$$

(5) 세 번째 입력된 m 개의 데이터와 해밍 거리 비교 결과가 검증 경계값 $m-\gamma_2$ 보다 커서 포착을 선언하는 경우의 확률 P_{AC11} 은 식(6)와 같다.

$$P_{AC11} = \sum_{k=0}^{\gamma_1} \binom{m}{k} P_e^k (1-P_e)^{m-k} \quad (6)$$

(6) 세 번째 입력된 m 개의 데이터 중 일부 오류가 발생하고, 검증 경계값 $m-\gamma_2$ 을 넘지 못하여 경로를 선택하지 않는 경우의 확률 P_{F12} 는 식(7)과 같다.

$$P_{F12} = 1 - P_{AC11} \quad (7)$$

(7) 잘못된 경로를 선택했으나, 세 번째 새로 입력된 m 개의 데이터와의 비교에서 검증 경계값 $m-\gamma_2$ 보다 커서 포착을 선언하는 경우의 확률 P_{AC12} 는 식(8)과 같다.

$$P_{AC12} = \sum_{i=0}^{\gamma_1} \binom{m}{m-i} \left(\frac{1}{2}\right)^m \quad (8)$$

(8) 입력된 m 개의 데이터 중 일부 오류가 발생하고, 검증 경계값을 넘지 못하여 경로 선택을 포기하는 경우의 확률 P_{F13} 은 식(9)와 같다.

$$P_{F13} = 1 - P_{AC12} \quad (9)$$

2) 바른 경로가 있음에도 불구하고 틀린 경로를 선택할 경우의 확률 P_{Err}

바른 경로와 틀린 경로들 간의 해밍 거리가 작은 경우 비교에 사용하는 수신 데이터들의 오류로 인하여 잘못된 경로를 선택하게 하거나, 동률을 만들

기 때문에 틀린 경로를 선택하게 할 수 있다. 각 경로는 서로 상관 관계가 없는 랜덤 발생기로 추정하여 계산한다. 잘못된 경로를 선택하는 경우의 확률 P_{Err} 은 식 (10)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{Err} = P_{AF} + P_{EF} \quad (10)$$

여기서 P_{AF} (Absolute Fail)와 P_{EF} (Equal but Fail)는 각각 반드시 틀린 경로를 선택할 수밖에 없는 경우의 확률과 경계값 비교 결과가 동률이 발생하여 임의의 경로를 선택할 때 틀린 경로를 선택하는 확률을 의미하고, 이들의 확률은 다음과 같이 계산된다.

(1) 반드시 틀린 경로를 선택할 확률 P_{AF}

오류를 가지고 수신된 m 개의 데이터와 틀린 경로를 가지고 있는 m 개의 경로들 중 일부가 이 수신 데이터들과 바른 경로와의 해밍 거리보다 적은 경우 반드시 틀린 경로를 선택하게 된다. 이때의 확률은 식(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{AF} = \sum_{\gamma=1}^m \left\{ 1 - \left[\sum_{k=\gamma}^m \binom{m}{k} \left(\frac{1}{2}\right)^m \right]^m \right\} \cdot \binom{m}{\gamma} P_e^\gamma (1-P_e)^{m-\gamma} \quad (11)$$

(2) 비교 결과가 동률이지만 틀린 경로를 선택할 확률 P_{EF}

수신된 데이터들에 발생한 오류로 인하여 m 개의 수신 데이터들과 바른 경로의 레지스터 값들 간의 해밍 거리와 m 개의 수신 데이터들과 틀린 경로의 레지스터 값들간의 해밍 거리가 동일하게 발생하게 되는 경우가 발생한다. 이때 임의의 한 개의 경로를 선택하게 되고, 이 선택이 잘못될 확률 P_{EF} 는 식 (12)와 같이 표현된다.

$$P_{EF} = \sum_{\gamma=1}^m \sum_{k=1}^m \frac{k}{k+1} \left[\binom{m}{\gamma} \left(\frac{1}{2}\right)^m \right]^k \cdot \binom{m}{\gamma} P_e^\gamma (1-P_e)^{m-\gamma} \quad (12)$$

3) 바른 경로가 존재하지 않는 경우

처음 수신한 m 개의 PN 부호중 1개 이상의 오류가 발생했을 때 $m+1$ 개의 국부 PN 부호 발생기 경로는 송신기에서 사용하는 PN 부호 발생기와 모두 다른 PN 부호를 발생하게 된다. 이때 PN 부호 동기 포착 과정에서 나타나는 확률은 다음과 같다.

(1) 처음 초기 수납되는 m 개의 데이터 중 2개 이상의 오류가 발생하여 국부 PN 부호 발생기 경로에 바른 경로가 존재하지 않는 경우의 확률 P_{C2} 는 식(13)와 같다.

$$P_{C2} = \sum_{k=2}^m \binom{m}{k} P_e^k (1-P_e)^{m-k} = 1 - P_{C1} \quad (13)$$

(2) 두 번째 입력된 m 개의 데이터를 비교 후 선택 경계값 $m \cdot \gamma_1$ 이상이 되어 경로를 선택하는 경우의 확률 P_{D21} 은 식(14)와 같다.

$$P_{D21} = \sum_{i=0}^{\gamma_1} \binom{m}{m-i} \left(\frac{1}{2}\right)^m \quad (14)$$

(3) 두 번째 입력된 m 개의 데이터를 비교 후 선택 경계값이 $m \cdot \gamma_1$ 이하가 되어 경로를 선택하지 않는 경우의 확률 P_{F21} 은 식(15)과 같다.

$$P_{F21} = 1 - P_{D21} \quad (15)$$

(4) 세 번째 입력된 m 개의 데이터와 비교하여 검증 경계값 $m \cdot \gamma_2$ 이상이 되어 경로를 선택하는 경우의 확률 P_{AC21} 은 식(16)과 같다.

$$P_{AC21} = \sum_{i=0}^{\gamma_2} \binom{m}{m-i} \left(\frac{1}{2}\right)^m \quad (16)$$

(5) 세 번째 입력된 m 개의 데이터 비교 후, 검증 경계값 $m \cdot \gamma_2$ 이하가 되어 경로를 선택하지 않는 경우의 확률 P_{F22} 는 식(17)과 같다.

$$P_{F22} = 1 - P_{AC21} \quad (17)$$

2. 포착 확률

포착을 선언할 확률 P_{AD} (Acquisition Declare), 오 경보 확률 P_{FA} (False Alarm), 그리고 정확히 포착할 확률 P_{AC} (Acquisition Correct)은 포착 성능을 나타내는 중요한 요소들이다. P_{AC} 는 국부 PN 부호 발생기에 설정되는 m 개의 초기 PN 부호중 1개 이하의 오류가 발생하여 정확한 PN 부호 발생 경로가 존재하여 이 경로를 선택하고, 연속하여 수신되는 PN 부호들과의 비교에서 경계값을 넘어 PN 부호 포착이 선언될 확률로 식(18)와 같고, P_{FA} 는 정확한 경로가 존재하더라도 다른 경로를 선택하거나, 정확한 경로가 없음에도 불구하고 수신된 PN 부호의 오류들로 인해 포착이 선언될 확률로 식(19)과

같다. 따라서 포착을 선언할 확률인 P_{AD} 는 P_{AC} 와 P_{FA} 를 더한 것과 같으므로 식(20)과 같이 계산된다.

$$P_{AC} = P_{C1}P_{D11}P_{AC11} \quad (18)$$

$$P_{FA} = P_{C1}P_{D12}P_{AC12} + P_{C2}P_{D21}P_{AC21} \quad (19)$$

$$P_{AD} = P_{C1}P_{D11}P_{AC11} + P_{C1}P_{D12}P_{AC12} + P_{C2}P_{D21}P_{AC21} \quad (20)$$

3. 평균 포착 시간

PN 부호 포착에 따른 신호의 흐름은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 포착이 선언되었을 경우, 계속적으로 포착 유지 여부를 확인하기 위해 정합 필터 방식의 상관기를 사용한다. 본 논문은 제안된 순차 예측 포착 방법의 성능을 분석하기 위한 것이므로 포착이 선언되었을 경우 상관기에서 포착이 유지될 확률을 1, 그리고 오 경보가 발생하였을 경우 포착이 유지될 확률은 0으로 가정한다. 부호 포착 경로에 따른 전달 함수(transfer function)는 다음과 같이 계산된다.

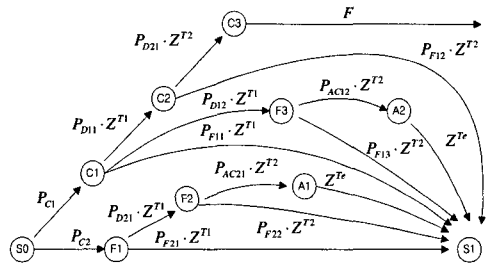


그림 5. 순차 예측 포착을 위한 신호 흐름도

1) $(S0) \rightarrow (F1) \rightarrow (S1)$ 경로를 따르는 경우의 신호 흐름 전달 함수는 식(21)와 같이 계산되며, 정확한 국부 PN 부호 발생기 경로가 존재하지 않는 경우를 의미한다.

$$R_{F1}(Z) = P_{C2}P_{F21}Z^{T1} + P_{C2}P_{D21}Z^{T1} \cdot (P_{F22}Z^{T2} + P_{AC21}Z^{T2}Z^{Te}) \quad (21)$$

2) $(S0) \rightarrow (C1) \rightarrow (S1)$ 경로를 따르는 경우의 신호 흐름 전달 함수는 식(22)과 같고, 정확한 국부 PN 부호 발생 경로를 가짐에도 불구하고 틀린 경로를 선택하거나 수신된 PN 부호의 오류로

인해 경로를 선택하지 않는 경우이다.

$$R_{C1}(Z) = P_{C1}P_{F11}Z^{T1} + P_{C1}P_{D12}Z^{T1} \cdot (P_{F13}Z^{T2} + P_{AC2}Z^{T2}Z^{Te}) \quad (22)$$

3) (S0) → (C2) → (S1) 경로를 따르는 경우의 신호 흐름 전달 함수는 식(23)와 같고, 정확한 국부 PN 부호 발생 경로를 선택하여 동기가 포착되거나 확인 모드에서 비교값이 검증 경계값을 넘지 못하여 동기 포착을 포기 경우를 따르는 신호 흐름을 의미한다

$$R_{C2}(Z) = P_{C1}P_{D11}P_{F12}Z^{2T1} \quad (23)$$

식(21),(22),(23)에서 Z는 시간 지연을 나타내는 연산자이고, T₁과 T₂는 m × T_{chip}으로 m개의 데이터를 수신하는 시간을 의미하고 T=T₁=T₂의 관계를 갖는다. T_e는 오 경보가 발생했을 경우에 벌칙으로 주어지는 소요 시간으로 정합 필터 상관기에서 소요되는 시간을 의미한다. 따라서, 신호 흐름도의 전달 함수 F(Z)는 식(24)와 같이 나타나게 되고, 평균 포착 시간 $\overline{T_{ACQ}}$ 는 이 전달 함수를 미분하여 Z를 1로 놓음으로써 식(25)과 같이 계산할 수 있다.

$$F(Z) = \frac{P_{C1} \cdot P_{D11} \cdot P_{D12} \cdot Z^{2T}}{1-R(Z)} \quad (24)$$

$$\overline{T_{ACQ}} = \frac{d}{dZ} [F(Z)] \Big|_{Z=1} = \frac{2TP_{C1}P_{D11}P_{D12}}{1-R(1)} + \frac{P_{C1}P_{D11}P_{D12}}{1-R(1)^2} \cdot \frac{d}{dZ} [R(Z)] \Big|_{Z=1} \quad (25)$$

식(24)에서 R(Z)는 정확한 동기 포착을 못하여 시간 지연이 존재하는 모든 경로의 신호 흐름 전달 함수로 R(Z) = R_{F1}(Z) + R_{C1}(Z) + R_{C2}(Z)이다.

IV. 수치 해석 및 분석

수치 해석에 사용하는 PN 부호 동기 포착 시스템은 단수 m이 15이고 순회 길이가 32,767인 m 계열 PN 부호 발생기를 사용하였다. 그리고 계산된 평균 포착 시간의 객관성을 유지하기 위해 IS-95 규격을 따르는 단말기에서 일반적으로 포착 성능을 보장할 수 있도록 유지하는 수신 E_c/N₀ 설정 값인 -10 dB를 중심으로 경계값 결정 요소인 선택 경계

값 결정 요소 γ₁과 검증 경계값 결정 요소 γ₂을 선정하여 성능을 고찰하였다.

그림 6, 7, 8, 9는 대표적인 결정 요소 값들의 설정에 대해 검출 확률, 오 경보 확률 그리고 평균 포착 시간을 나타낸다. 그림 6에서 검출 확률은 E_c/N₀가 -5 dB이상에서 상승 속도가 빨라져 포착 성능이 향상됨을 알 수 있다. 이것은 수신되는 PN 칩들의 오류율이 낮아지므로 예측기에서 정확한 PN 부호를 예측할 가능성이 높기 때문이다. 그림 7은 E_c/N₀가 -3 dB이하에서 성능이 거의 포화됨을 보 이는데, 수신된 PN 부호에 오류가 많을 경우에는 랜덤 신호의 집합끼리 비교를 하는 것과 같이 포화가 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 그러므로, 결정 요소 값들이 커지면 검출 확률은 커지지만 오 경보 확률도 커지게 된다. 그림 8에서 E_c/N₀가 -10 dB인 경우 포착 시간이 가장 느린 경우는 γ₁이 1 이고 γ₂가 3인 T_{ACQ}(1,3)으로 150,600칩(chip) 시간이 소요되고, 가장 빠른 경우는 γ₁이 4이고 γ₂가 3인 T_{ACQ}(4,3)으로 9,093칩 시간이 필요하다. 즉, 칩 전송률이 1M chip/sec이라고 가정하면, T_{ACQ}(1,3)은 약 150ms, T_{ACQ}(4,3)은 약 9ms이내 의 고속 동기 포착 성능을 보인다. 결정 요소값 γ₁, γ₂가 성능에 영향을 미치는 정도를 분석하기 위하여 그림 8과 그림 9는 각각 γ₂ 과 γ₁을 3으로 고정 하여 평균 포착 시간을 나타내었다. 해밍 거리의 비교 결과가 경계값을 통과했을 경우에는 정확히 포착되었다고 가정하였고, 결정 요소 값이 큰 경우 오 경보로 인하여 벌칙으로 소요되는 시간은 이 값이 작은 경우에 수신한 칩의 오류로 인하여 정확한 PN 부호를 예측하지 못하고 바른 경로 선택을 위해 소비되는 시간보다 짧기 때문에 결정 요소 값들이 큰 경우에는 평균 포착 시간은 짧아지게 된다.

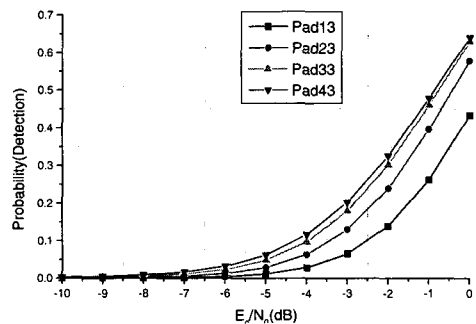


그림 6. E_c/N₀와 결정 요소 γ₁과 γ₂의 변화에 따른 검출 성능

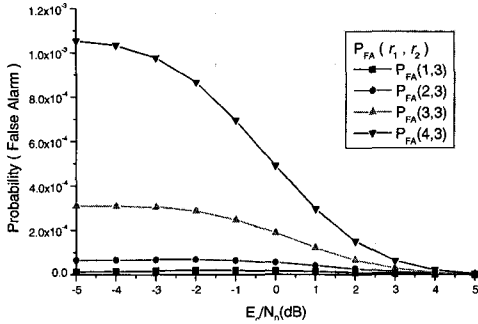


그림 7. E_c/N_0 와 결정 요소 γ_1 과 γ_2 의 변화에 따른 오경보 확률

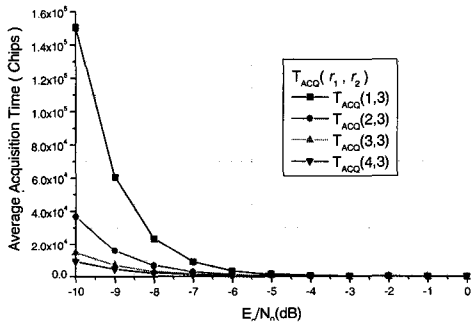


그림 8. γ_2 가 3인 경우 E_c/N_0 와 결정 요소 γ_1 의 변화에 따른 평균 포착 시간

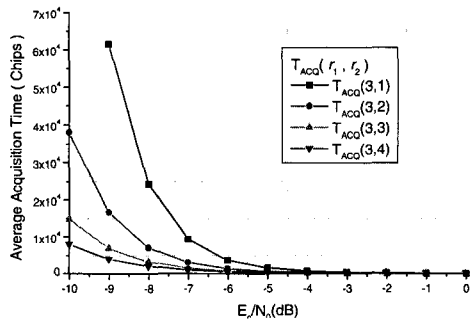


그림 9. γ_1 이 3인 경우 E_c/N_0 와 결정 요소 γ_2 의 변화에 따른 평균 포착 시간

V. 결론

본 논문에서는 예측기의 내부 레지스터들에 초기 저장되는 m 개의 수신 PN 칩들 중에 1개의 오류를 포함하는 경우 이를 정정하여 포착 성능을 높이고, 효과적으로 포착을 수행할 수 있도록 가변 구조를 갖는 순차 예측 포착 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 정합 필터 상관기를 이용한 포착 방법과 순차

예측 방법을 병행하여 PN 부호 포착을 수행할 수 있도록 한 구조로 상관기를 변형하여 순차 예측기로 사용하고, 포착이 결정되는 순간에 다시 상관기 구조로 복원하여 정확하고 고속으로 포착을 수행한다.

제안된 구조가 유효하게 동작하는지 검증하기 위해 성능 평가 지수로 포착 검출 확률과 오경보 확률을 계산하였으며, 평균 포착 시간을 신호 흐름도를 이용하여 해석하고 계산하였다. 수치 계산의 결과, 수신 신호 대 잡음비가 높을수록, 경계값 결정 요소를 크게 할수록 포착을 선언할 확률이 높고 평균 포착 시간도 짧아 포착 시스템의 성능을 향상시킨다. 따라서, 제안된 포착 시스템은 포착 속도가 빠르고, 포착 성능이 우수함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] M. K. Simon, et al., *Spread Spectrum Communications Handbook*, Revised ed., McGraw-Hill, New York, 1994.
- [2] R. L. Peterson, et al., *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Revised ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, 1995.
- [3] R. B. Ward and K. P. YIU, "Acquisition of Pseudonoise Signals by Recursion-Aided Sequential Estimation," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. COM-25, No. 8, pp. 784-794, Aug. 1977.
- [4] A. Polydoros and C. L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisition -Part I: General Theory," *IEEE Trans on Comm.*, Vol. COM-32, No. 5, pp. 542-549, May, 1984
- [5] A. Polydoros and C. L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisition -Part II: Matched-Filter Receiver," *IEEE Trans on Comm.*, Vol. COM-32, No. 5, pp. 550-560, May, 1984
- [6] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2001.

현 광 민(Kwangmin Hyun)

정회원



1989년 2월 : 한양대학교

전자통신공학과 학사

1995년 2월 : 한양대학교

전자통신공학과 석사

2001년 2월 : 한양대학교

전자 전기컴퓨터공학부

박사과정수료

1989년 1월~1994년 6월 : 대우통신

1995년 1월~1996년 6월 : (사)고등기술연구원

1997년 6월~2001년 10월 : (주)케이엠더블유

2001년 11월~현재 : (주)리코시스

<주관심 분야> 디지털통신, 이동통신, SDR

박 상 규(Sang Kyu Park)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교

전기 공학 (공학사)

1980년 5월 : Duke University

통신공학 (공학석사)

1987년 5월 : University of

Michigan 통신공학

(공학박사)

1976년 7월~1978년 10월 : 국방과학연구소

1990년 8월~1991년 8월 : University of Southern

California 객원교수

1987년 3월~현재 : 한양대학교 공과대학

전자전기컴퓨터공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론,
PCS, IMT-2000