

3차 상관 추정치를 이용한 직접 시퀀스 확산대역 신호의 검출

정회원 임연주*, 조영하*, 박상규*, 김정석**

The Direct Sequence Spread Spectrum Signal Detection Using The Triple Correlation Estimator Value

Yeon Ju Lim*, Young Ha Cho**, Sang Kyu Park*, Jeong Seok Lim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 PN(Pseudo Noise) 부호에 대한 정보 없이 확산대역 신호를 검출하는 방식을 다룬다. 이러한 검출 방식은 군용 통신에서 사용되거나 주파수 사용 영역을 관리(spectrum surveillance)하는 경우에 있어 중요하게 다루어질 수 있다. 검출 내용은 주어진 대역폭 내에 확산대역 신호가 존재하는지의 여부, PN 부호의 길이 및 PN 부호 구분(identification)이다. 고차 통계적 신호처리 기법 중 하나인 3차 상관함수는 사전 정보가 없는 확산대역 신호의 검출에 유용하게 사용될 수 있다. 본 논문에서는 실제 확산대역 신호를 검출하는데 있어 3차 상관함수의 결과값만을 이용할 경우 발생하는 문제점을 지적하고, 이러한 문제점을 극복하는 동시에 성능이 향상된 확산대역 신호 검출 방식을 제안한다.

Key Words : DS/SS signal detection; PN sequence; Higher order statistical signal processing; Triple correlation function(TCF)

ABSTRACT

This paper covers the detection of covert direct sequence spread spectrum signal without the PN(Pseudo Noise) code information. Due to its low probability of interception, the difficulty of spectrum surveillance increases. Detection parameters are the signal existence of given bandwidth, the length of spreading sequence used by transmitter, and the identification of spreading code for detected chip length. The triple correlation function(TCF) value which is one of the higher order statistical signal processing techniques can be used to detect spread spectrum signal without a prior knowledge, but, it has weakness that TCF results depend on the spread data sequence in actual application. This paper proposes the new scheme that not only overcomes the weakness but also presents better performance than the traditional TCF scheme. The performance comparison of conventional TCF with proposed technique shows that the triple correlation estimator(TCE) has better detection capability.

I. 서론

산업용으로 쓰이고 있는 CDMA 방식은 수신기가 PN 부호에 대한 정보를 바탕으로 수신신호를 역확

산시켜 원하는 정보를 수신하게 된다. 그러나 군용 통신이나¹⁾ 주파수 사용 영역 관리(spectrum surveillance)의 경우에는 확산대역 신호가 수신기가 알고 있는 넓은 대역폭 내에 존재한다고 가정하

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

** 삼성전기 무선고주파연구소

*** 한국전자통신연구원 부설 국가보안기술연구소

논문번호 : 030457-1014, 접수일자 : 2003년 10월 14일

고, PN 부호에 대한 정보 없이 확산대역 신호의 파라미터들을 검출해 내는 것을 목표로 한다. 본 논문은 확산대역 신호에 대한 사전 정보가 없을 경우, 즉 수신기가 PN 부호를 모르는 경우 확산대역 신호의 검출에 대해 다룬다.

확산대역 신호가 지나는 LPI(Low Probability of Interception)특성^[2]에도 불구하고 PN 부호에 대한 정보 없이 확산대역 신호 파라미터를 검출하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 기존에 제안되었던 가장 기본적인 방식 수신기(interception receiver)로는 라디오미터(radiometer) 수신기가 있다^[3]. 그러나 라디오미터 수신기를 통해서 높은 검출 성능을 얻을 수 없다.

한편, 발전된 신호처리 기술들을 군용통신, 레이더, 항해술 등에 적용하고자 하는 연구가 수행되어 왔다^[4]. 사전 정보가 없는 확산대역 신호 검출을 위해서도 이러한 신호처리 기술들을 적용한 연구가 있었으며, 그 중 대표적인 것이 Gardner에 의해 제안된 방법^[4]과 고차 통계적 신호처리 기법^[5]이다. Gardner는 확산대역 신호의 순환정상성(cyclostationarity)^[6]을 이용한 검출 방식을 제안하였으며, 이러한 검출 방식은 라디오미터에 비해 더 좋은 검출 성능^{[7][8]}을 보여준다.

순환정상성을 이용한 검출 방식은 효과적이기는 하지만 확산대역 신호의 존재 여부에 대해서만 확인할 수 있다. 반면, 고차 통계적 신호처리 기법은 확산대역 신호의 존재 여부 뿐만 아니라 확산대역 신호의 파라미터를 추출해 낼 수 있다.

고차 통계적 신호처리 기법을 이용한 확산대역 신호 파라미터 검출 방식으로 3차 상관함수(triple correlation function, TCF)를 이용하는 방법^[9]이 있다. 3차 상관함수를 PN 부호에 대한 사전 정보가 없는 확산대역 신호의 검출에 사용할 경우 확산대역 신호의 존재 유무 및 PN 부호의 길이를 검출할 수 있으며, PN 부호의 구분(identification)이 가능하다.

본 논문은 3차 상관함수 값을 이용한 기존의 검출 방식이 확산시키하고자 하는 정보원 데이터에 따라 확산대역 신호의 파라미터 검출 성능에 큰 영향을 주어 검출 방식의 신뢰성을 떨어뜨리는 단점이 있음을 보여준다. 또한, 본 논문은 3차 상관함수에 의한 검출 방식의 단점을 보완하여 확산대역 신호의 파라미터 검출 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 검출 방식인 3차 상관 추정기(triple correlation

estimator, TCE)를 이용한 검출 방식을 제안한다.

2장에서는 3차 상관함수 값을 이용하여 사전 정보가 없는 환경에서 확산대역 신호를 검출하는 방법에 대해서 설명한다. 3장은 본 논문에서 제안하고 있는 3차 상관 추정치를 이용한 검출에 대해서 다룬다. 또한, 3차 상관함수 값을 이용한 검출 방식의 문제점인 데이터 의존성에 관하여 설명한다. 마지막으로 4장에서는 제안한 방식과 기존 방식의 검출 성능을 비교 분석한다.

II. 3차 상관함수에 의한 검출

고차 통계적 신호처리 기법 중 하나인 3차 상관함수^[9]에 대해서 고려한다. 식 (1)은 3차 상관함수를 나타낸다.

$$R_{r_{m_i}}(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{N} \sum_{n} r_{m_i}(n) r_{m_i}(n + \tau_1) r_{m_i}(n + \tau_2) \quad (1)$$

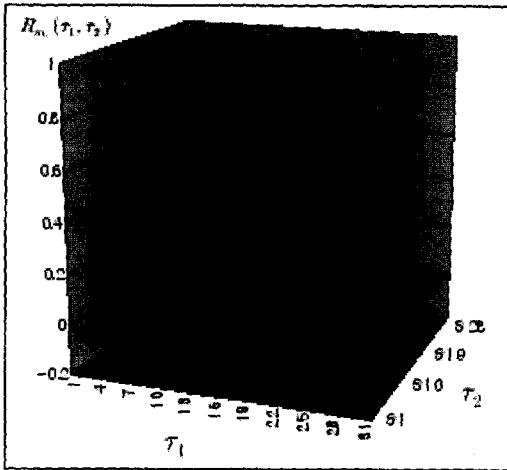
여기서 m_i 는 임의의 PN 부호, $r_{m_i}(n)$ 는 m_i 에 의해 확산된 확산대역 신호의 표본화된 이산 신호, τ_1, τ_2 는 이산시간 지연, N 은 상관에 사용된 이산 표본의 수를 나타낸다.

확산대역 신호는 PN 부호가 정보원 데이터에 각각 곱해져서 생성된다. 따라서 확산대역 신호에는 반드시 PN 부호가 반복적으로 나타나게 된다. 결국, 이렇게 신호에 반복적으로 존재하는 PN 부호 특성을 이용하면 확산대역 신호에 대한 파라미터들을 검출할 수 있게 된다.

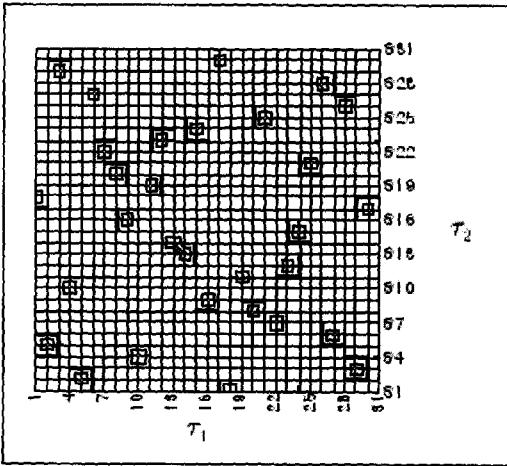
1. 확산대역 신호 존재 유무 검출

3차 상관함수를 이용하여 확산대역 신호의 존재 유무를 검출한다. 그림 1은 길이가 31인 PN 부호의 3차 상관함수 값 $R_{m_i}(\tau_1, \tau_2)$ (단, $r_{m_i}(n) = m_i$)를 보여준다. 그림에서의 가로축과 세로축은 식 (1)에서의 τ_1 과 τ_2 를 각각 나타내며 연산에 사용된 이산 표본은 하나의 칩 값만을 포함한다.

그림 1의 a)는 PN 부호에 대한 3차 상관함수 값을 3차원적으로 표현한 것이며 여기서 $R_{m_i}(\tau_1, \tau_2)$ 는 모든 τ_1, τ_2 에 대해서 1 또는 $-1/N$ 의 값을 갖는다. 이는 식 (2)로 나타낼 수 있다.



a) 3차원 표현



b) 2차원 표현

그림 1. PN 부호에 대한 TCF 결과

$$R_{m_i}(\tau_1, \tau_2) = \begin{cases} 1, & \text{if } (\tau_1, \tau_2) \in P_{m_i} \\ -1/N, & \text{if } (\tau_1, \tau_2) \notin P_{m_i} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, $R_{m_i}(\tau_1, \tau_2) = 1$ 은 PN 부호에 대한 3차 상관함수 값의 최고값(peak value)이다. 임의의 이산 시퀀스에 대한 3차 상관함수 결과는 PN 부호의 3차 상관함수가 갖는 최고값 패턴이 전혀 존재하지 않는다. 따라서 수신 이산신호의 3차 상관함수

값을 구하여 PN 부호의 3차 상관함수 결과가 갖는 이상적인 최고값 패턴과 비교함으로써 주어진 대역 폭 내에 확산대역 신호가 존재하는지의 여부를 확인할 수 있다.

그림 1의 b)는 PN 부호의 3차 상관함수 값을 2차원 평면에 표현한 것이다. 이를 통해서 3차 상관함수의 최고값이 존재할 경우에 대한 이산시간지연 순서쌍 (τ_1, τ_2) 를 알 수 있다. 이러한 순서쌍의 집합을 최고값 위치(peak location)라고 부르며, 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{m_i} = \{(\tau_1, \tau_2) | R_{m_i}(\tau_1, \tau_2) = 1\} \quad (3)$$

P_{m_i} 는 임의의 PN 부호 m_i 의 3차 상관함수 값을 바탕으로 결정되며, 이는 PN 부호에 따라 서로 다르기 때문에 PN 부호를 구분하는데 있어 중요한 의미를 지니게 된다.

2. PN 부호의 길이 검출

2장 1절에서 PN 부호에 대한 3차 상관함수 값의 최고값 패턴을 통해 임의의 주파수 대역 안에서 확산대역 신호의 존재 여부를 검출하였다. 이제 계산된 3차 상관함수 값을 바탕으로 PN 부호의 길이를 검출하는 방식에 대해 설명한다.

확산대역 신호의 3차 상관함수 값은 다음과 같은 두가지 특성을 갖는다. 첫째, 모든 3차 상관함수 값은 교환법칙에 의해서 $\tau_1 = \tau_2$ 에 대해 대칭적인 값을 갖는다. 둘째, 3차 상관함수 값은 연산에 사용되는 상관 길이 N 을 충분히 늘려 주었을 때 일정한 간격을 가지고 반복적인 패턴을 보여준다. 이때, 이러한 반복적인 패턴의 주기가 바로 PN 부호의 길이가 된다. 결국, 확산대역 신호의 존재 유무를 확인하기 위해 충분히 큰 상관 길이(실제 확산에 사용된 PN 부호보다 크다)로 3차 상관함수 값을 연산하면 이 연산 결과를 바탕으로 확산대역 신호의 존재 유무와 길이까지 동시에 검출해 낼 수 있다.

그림 2는 그림 1에서 사용된 동일한 PN 부호를 이용하여 상관 길이를 70으로 하였을 때의 3차 상관함수 값을 보여준다. 2차원 평면에 나타난 3차 상관함수 값이 31을 주기로 반복되는 패턴을 보이기 때문에 존재 여부가 확인된 확산대역 신호의 PN 부호 길이는 31임을 알 수 있다.

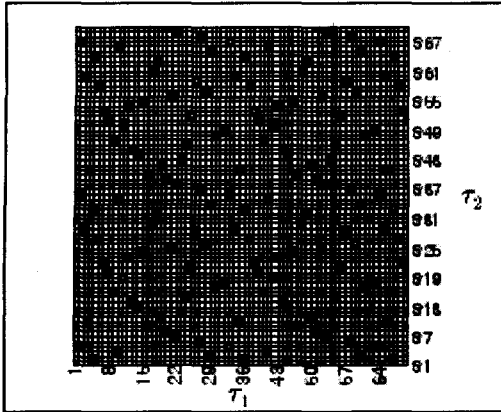
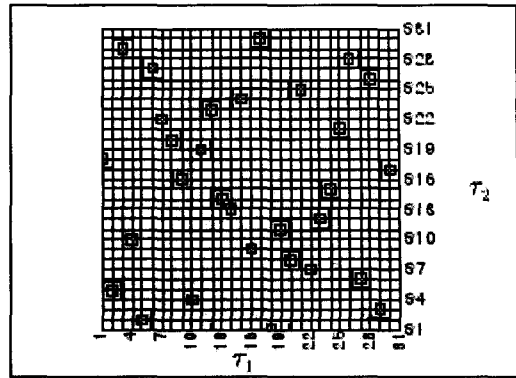
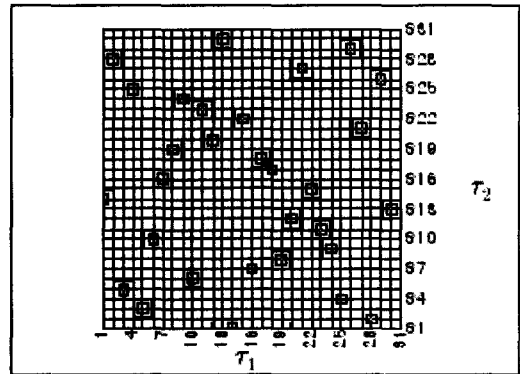


그림 2. N=70 인 경우의 TCF 결과



a) PN 부호 m_i 에 대한 TCF 결과

$m_i = [1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1]$



b) PN 부호 m_j 에 대한 TCF 결과

$m_j = [-1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1]$

그림 3. 서로 다른 PN 부호에 대한 TCF

3. PN 부호의 구분(identification)

2장 1절에서 PN 부호의 3차 상관함수 값은 최고 값을 가지며 이 때, 최고값 위치는 PN 부호마다 다르다고 하였다. 즉, $P_{m_i} \neq P_{m_j}$ (단, $i \neq j$)의 특성을 보인다. 각각의 PN 부호마다 고유한 최고값 위치를 갖기 때문에 이를 관찰함으로써 정확한 PN 부호를 구분해 낼 수 있다. 그림 3에서는 길이가 31인 서로 다른 PN 부호의 3차 상관함수 값을 2차원으로 보인 것이다. a), b)의 최고값 위치가 서로 다르기 때문에 서로 다른 PN 부호에 대한 구분이 가능하다.

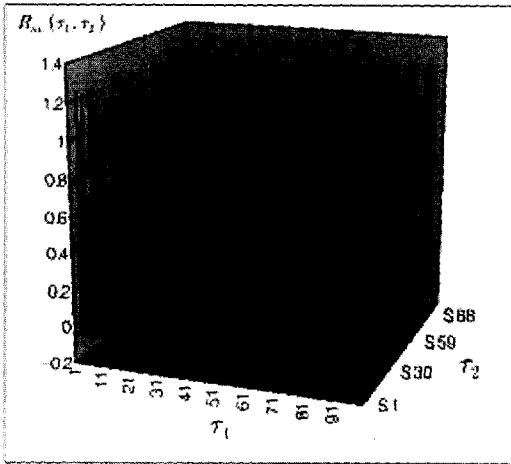
III. 3차 상관 추정기를 이용한 검출

3차 상관함수는 확산대역 신호의 존재여부 뿐만 아니라 확산대역 신호의 파라미터를 검출할 수 있다. 그러나, 확산대역 신호의 3차 상관함수 값은 확산된 정보원 데이터에 따라 그 값이 크게 변하는 문제점이 있으며 이로 인해 검출성능은 크게 떨어지게 된다.

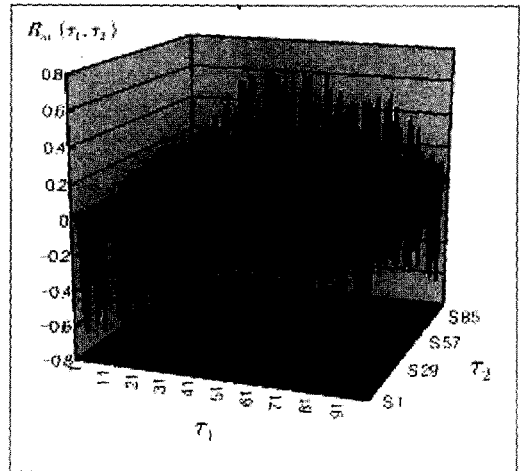
그림 4는 확산대역 신호의 3차 상관함수 값이 확산된 정보원 데이터에 따라 변하는 예를 보여준다. a)의 경우 $d=[1, 1, 1, 1]$ 이라는 정보원 데이터를 PN 부호를 이용하여 확산시킨 확산대역 신호의 3차 상관함수 값이다. 확산에 쓰인 PN 부호는 그림 1에서 사용한 PN 부호와 동일한 것이다. 상관 길이 N 은 길이가 31인 PN 부호의 반복 패턴을 확인하기 위해 100으로 하였고 잡음은 전혀 없다고 가정

하였다. b), c), d)의 경우도 정보원 데이터만 다르게 정의하였고, 동일한 환경에서 얻은 결과이다. 그림을 통해 나타난 바와 같이 정보원 데이터가 변함에 따라 3차 상관함수 값이 양의 값, 0, 그리고 음의 값으로 크게 변하고 있음을 확인할 수 있다. 특히, c)의 경우처럼 정보원 데이터 내에 0과 1의 개수가 같을 때 3차 상관함수 값은 전부 0이 된다. 따라서 이 경우는 확산대역 신호가 존재하는지의 여부조차도 검출하는 것이 불가능해진다.

따라서, 이러한 문제점을 극복하기 위해서 본 논문에서는 3차 상관함수의 추정치를 이용한 새로운 검출 방식을 제안한다.

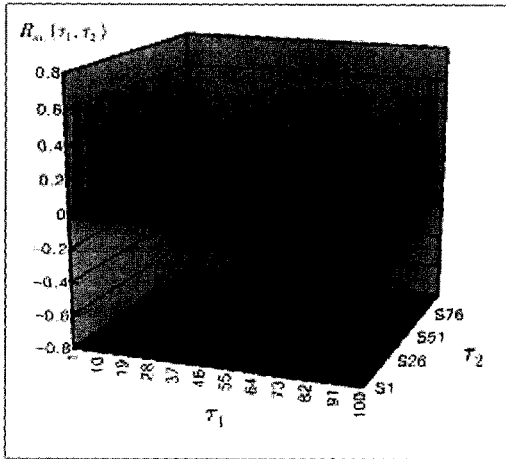


a) $d=[1, 1, 1, 1]$

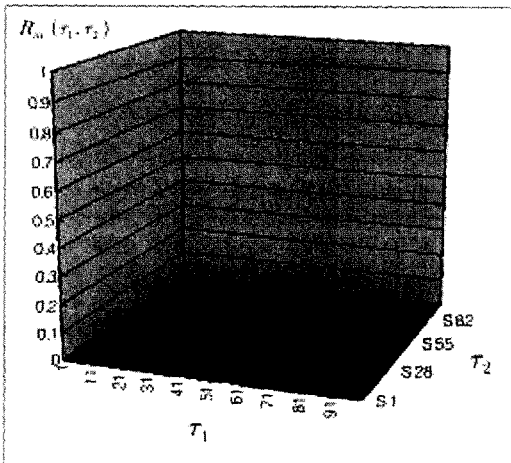


d) $d=[-1, -1, 1, -1]$

그림 4. 주어진 각각의 정보원 데이터를 확산시킨 확산대역 신호의 TCF 결과



b) $d=[1, -1, 1, 1]$



c) $d=[1, -1, 1, -1]$

1. 3차 상관 추정치의 연산

3차 상관 추정치는 다음의 과정을 거쳐 연산된다. 우선 수신기는 원하는 주파수 대역 내에 존재하는 신호를 수신하여 일정한 길이로 윈도잉한다. 여기서 윈도잉하는 이산 표본의 길이는 적어도 PN 부호의 길이 보다 크게 잡는다. 다음으로 수신기는 각각의 윈도잉된 수신 이산 신호를 바탕으로 3차 상관 함수 값을 구한다. 이는 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$R_m^k(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L r_m^k(n) r_m^k(n + \tau_1) r_m^k(n + \tau_2) \quad (4)$$

여기서 k 는 윈도잉의 인덱스, L 은 3차 상관에 사용된 이산 표본의 길이, $r_m^k(i)$ 는 k 번째로 윈도잉된 수신 이산 신호, τ_1, τ_2 는 각각 3차 상관 함수에 사용되는 이산 시간 지연을 가리킨다. k 번째 윈도잉된 수신 이산 신호를 통해 연산된 $R_m^k(\tau_1, \tau_2)$ 를 바탕으로 3차 상관 추정치 $E_m^K(\tau_1, \tau_2)$ 를 연산할 수 있다. 이는 식 (5)와 같다.

$$E_{m_i}^K(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |R_{m_i}^k(\tau_1, \tau_2)|^2 \quad (5)$$

여기서 K 는 3차 상관함수의 추정치를 연산하는데 사용된 총 윈도우의 개수를 가리킨다.

그림 4의 b), d)를 보면 3차 상관함수 값이 -0.6에서 0.6사이의 다양한 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그러나 PN 부호의 3차 상관함수 값은 이와 같은 큰 음의 값이 존재하지 않기 때문에 정보원 데이터가 PN 부호에 의해 확산된 확산대역 신호의 3차 상관함수 값을 이용해서는 확산대역 신호의 존재 유무를 검출하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 3차 상관 추정치는 식 (5)에서와 같이 확산대역 신호의 3차 상관함수 결과에 자승을 취해 구하게 된다.

한편, c)의 경우처럼 정보원 데이터의 영향으로 인해 확산대역 신호의 3차 상관함수 결과가 음의 값은 아니지만 그 크기가 매우 작아지는 경우도 생기게 된다. 이는 확산대역 신호의 3차 상관함수 결과들을 평균하여 정보원 데이터의 영향을 최소화시킬 수 있다. 따라서 3차 상관 추정치는 정보원 데이터에 크게 의존적인 3차 상관함수 값의 취약점을 충분히 해결해 준다.

2. 3차 상관 추정치를 이용한 검출

3차 상관 추정치를 이용하여 확산대역 신호의 존재 유무 및 PN 부호의 길이를 검출하고 PN 부호를 구분(identification)하는 방식에 대해서 설명한다. 3차 상관 추정치는 PN 부호의 3차 상관함수 결과가 갖는 이상적인 최고값의 패턴에 가장 근접한 연산 결과값을 지니고, 이는 확산대역 신호의 PN 부호 길이만큼 반복되며, PN 부호마다 서로 다른 연산 결과값을 갖는다. 또한, 3차 상관 추정치는 3차 상관함수가 갖는 0과 음의 연산 값이 존재하지 않는다. 따라서, 3차 상관 추정치를 이용한 검출 방식은 3차 상관함수 값을 이용한 검출 방식보다 더 좋은 검출 성능을 지니게 된다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

3차 상관함수 값을 이용한 검출과 3차 상관 추정치를 이용한 검출의 성능을 두 가지 관점에서 비교한다. 시뮬레이션을 위해서 확산대역 신호는 랜덤한 10비트의 정보원 데이터를 PN 부호에 의해 확산시

켜 생성하였다. 3차 상관함수의 상관 길이는 62로 하였으며, 3차 상관 추정치를 위해서는 4개의 윈도우를 사용하였다.

성능 분석의 첫 번째 관점은 검출에 사용되는 연산 결과값들의 데이터 의존성에 관한 것이며 이를 보여주는 성능인자는 식 (6)과 같이 정의한다.

$$y = \overline{AVG}_{P_{m_i}}^{f(\tau_1, \tau_2)} - \overline{AVG}_{P_{m_i}^C}^{f(\tau_1, \tau_2)} \quad (6)$$

여기서 P_{m_i} 는 식 (2)에서와 같은 의미이며,

$P_{m_i}^C$ 는 P_{m_i} 의 여집합을 의미한다. 3차 상관함수(TCF)를 이용할 경우 연산 결과값 $f(\tau_1, \tau_2) = R_{m_i}(\tau_1, \tau_2)$ 가 되고 3차 상관 추정기(TCE)를 이용할 경우 연산 결과값 $f(\tau_1, \tau_2) = E_{m_i}^K(\tau_1, \tau_2)$ 가 된다.

$\overline{AVG}_X^{f(\tau_1, \tau_2)}$ 는 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\overline{AVG}_X^{f(\tau_1, \tau_2)} = \frac{1}{N(X)} \sum_{(\tau_1, \tau_2) \in X}^{N(X)} f(\tau_1, \tau_2) \quad (7)$$

여기서 $N(\cdot)$ 은 집합의 원소 개수를 나타내고 X 는 임의의 순서쌍 집합을 가리킨다. 그러므로 성능인자 y 는 확산에 사용된 PN 부호의 3차 상관함수 값이 고유하게 갖는 최고값 위치(P_{m_i})에서의 연산 결과값($f(\tau_1, \tau_2)$)의 평균, $\overline{AVG}_{P_{m_i}}^{f(\tau_1, \tau_2)}$

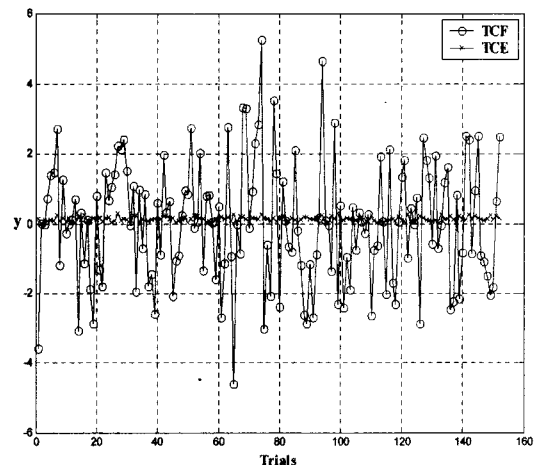


그림 5. 데이터 의존성에 대한 성능 분석 결과

와 최고값 위치가 아닌 곳(P_m^C)에서의 연산 결과값($f(\tau_1, \tau_2)$) 평균, $\overline{AVG}_{P_m^C}^{f(\tau_1, \tau_2)}$ 와의 차를 나타낸다.

그림 5는 $SNR(= E_b/N_0)$ 이 5dB인 환경에서 시뮬레이션 시도 회수에 따른 y 의 변화를 보여준다. 그림을 통해서 3차 상관 추정치에 의한 y 는 거의 일정한 값을 갖는 반면 3차 상관함수 값에 의한 y 는 시도 회수에 따라 큰 폭으로 변하고 있음을 관찰할 수 있다. 이를 통해 3차 상관 추정치는 3차 상관함수 값에 비해 정보원 데이터로부터의 영향이 미약함을 알 수 있다. 또한, 3차 상관 추정치는 오직 양의 값만을 갖게 되고, 이는 PN 부호의 3차 상관함수 결과가 갖는 최고값 위치에서의 3차 상관 추정치

(if $(\tau_1, \tau_2) \in P_m, E_m^K(\tau_1, \tau_2)$) 평균이 최고값 위치가 아닌 곳에서의 3차 상관 추정치 (if $(\tau_1, \tau_2) \notin P_m, E_m^K(\tau_1, \tau_2)$) 평균보다 항상 크게 되어 식 (8)이 성립된다.

$$\overline{AVG}_{P_m}^{E_m^K(\tau_1, \tau_2)} > \overline{AVG}_{P_m^C}^{E_m^K(\tau_1, \tau_2)} \quad (8)$$

이는 3차 상관 추정치를 이용한 검출이 더 높은 검출 성능을 지니게 됨을 의미한다.

두 번째 관점은 3가지 파라미터의 검출 성능에 대한 비교이다. 이번에는 그림 5에서와는 달리 새로운 성능인자 z 를 적용하여 3차 상관 추정치를 검출에 이용할 때가 3차 상관함수를 이용할 때 보다 더 높은 검출 성능을 지니게 됨을 확인한다. 성능인자 z 는 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = \frac{\overline{AVG}_{P_m}^{f(\tau_1, \tau_2)}}{\overline{AVG}_{Q \cap P_m^C}^{\hat{f}(\tau_1, \tau_2)}} \quad (9)$$

z 의 분모는 검출에 사용되는 연산 결과값 $f(\tau_1, \tau_2)$ 에 임계값을 적용하였다. 따라서 임계값보다 크거나 같은 연산 결과값을 제외하고 $\hat{f}(\tau_1, \tau_2) = 0$ 이 된다. 이는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{f}(\tau_1, \tau_2) = \begin{cases} f(\tau_1, \tau_2), & \text{if } f(\tau_1, \tau_2) \geq \gamma \\ 0, & \text{if } f(\tau_1, \tau_2) < \gamma \end{cases} \quad (10)$$

시뮬레이션에 사용된 임계값 γ 에 대해 설명한다. 길이가 31인 PN 부호에 대한 3차 상관함수를 상관 길이 62로 연산하였을 때

$$R_{m_i}(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{62} \sum_{n=1}^{62} r_{m_i}(n)r_{m_i}(n+\tau_1)r_{m_i}(n+\tau_2) \quad (11)$$

로 쓸 수 있으며, 이를 바탕으로 PN 부호의 3차 상관함수 결과가 갖는 고유한 최고값 위치의 개수는 식 (12)가 된다.

$$S = N((\tau_1, \tau_2) | R_{m_i}(\tau_1, \tau_2) = 1) \quad (12)$$

시뮬레이션에 사용된 임계값 γ 는 $|S + 0.2S|$ 개의 연산 결과값만이 존재하도록 정한다. 그러므로 식 (13)이 성립한다.

$$N(Q) = |S + 0.2S| \quad (13)$$

여기서 Q 는 임계값을 적용하여 구한 $|S + 0.2S|$ 개의 연산 결과값들의 위치를 나타내는 순서쌍 (τ_1, τ_2) 의 집합이다. 이를 종합하면

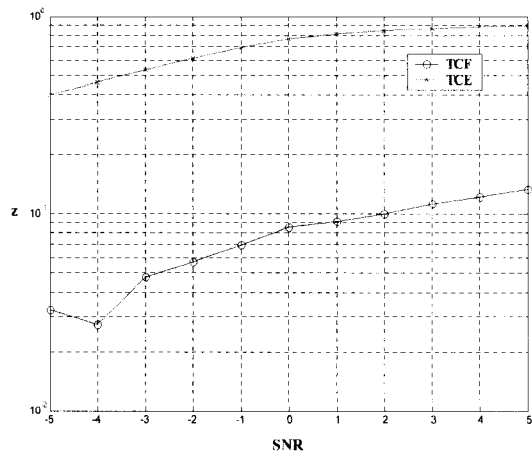


그림 6. 임계값을 적용한 검출 성능 비교

$$Q = (\tau_1, \tau_2) | f(\tau_1, \tau_2) \geq \gamma \quad (14)$$

가 된다.

식 (9)의 분모 $\overline{AVG}_{Q \cap P_m^c}^{f(\tau_1, \tau_2)}$ 는 PN 부호의 3차 상관함수 결과가 갖는 고유한 최고값 위치 (P_m)에 포함되지 않으면서 정보원 데이터와 잡음에 의해 연산 결과값이 커져서 임계값보다 큰 값을 갖게된 연산 결과값들의 평균을 나타낸다. 반면 분자 $\overline{AVG}_{P_m}^{f(\tau_1, \tau_2)}$ 는 PN 부호의 3차 상관함수 값에 존재하는 고유한 최고값 위치에서의 연산 결과값 평균을 나타낸다. 결국, 분모는 임계값이 적용되었을 때 검출 성능을 떨어뜨리는 값이며 분자는 검출 성능을 높이는 값이다. 따라서 z 가 클수록 더 좋은 검출 성능을 갖는다.

그림 6은 SNR에 따른 성능인자 z 의 변화를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 3차 상관 추정치를 이용한 검출의 z 가 3차 상관함수 값을 이용한 검출의 z 보다 크기 때문에 3차 상관 추정치를 이용할 때가 검출 성능이 더욱 우수함을 확인할 수 있다. 여기서, 파라미터 z 의 값이 1보다 작다는 것은 모든 SNR에 대해

$$\overline{AVG}_{P_m} < \overline{AVG}_{Q \cap P_m^c} \quad (15)$$

임을 의미한다. 이 때, $z < 1$ 가 PN 부호를 구분하는 것이 불가능하다는 것을 의미하지는 않는다. 이유는 다음 식과 같기 때문이다.

$$N(Q \cap P_m^c) < N(P_m) \quad (16)$$

V. 결론

본 논문에서는 PN 부호에 대한 정보가 전혀 없을 경우의 확산대역 신호 검출 방식에 대해 제안하였다. 3차 상관 추정치를 이용한 검출 방식은 정보원 데이터에 의한 영향을 최소화하기 위해서, 3차 상관함수 값을 바로 검출에 이용하는 것이 아니라 3차 상관함수 값의 지승을 평균하였다. 이렇게 함으로써, 3차 상관 추정치는 항상 양의 값을 가지며 3

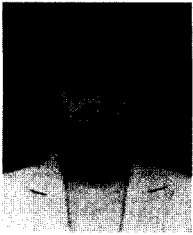
차 상관함수 값을 확산대역 신호 검출에 바로 적용하였을 경우보다 데이터에 의한 영향도 훨씬 적어져 검출 성능이 크게 향상된다. 따라서, 3차 상관 추정치를 이용한 검출은 직접 시퀀스 확산대역 신호와 같이 LPI 특성을 갖는 광대역 신호를 PN 부호에 대한 정보 없이 검출하고자 하는 여러 응용분야에서 실질적으로 유용하게 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] Roger L. Peterson, Rodger E. Ziemer, David E. Borth, "Introduction to Spread Spectrum Communications", Prentice Hall, pp. 584-614, 1995
- [2] John G. Proakis, "Digital Communications", McGraw-Hill, pp. 726-753, 2001
- [3] Stephans, J. P., "Advances in Signal Processing Technology for Electronic Warfare," *IEEE AES Systems Magazine*, pp. 31-38, November 1996
- [4] Gardner, W. A., "Signal Interception: a unifying theoretical framework for feature detection," *IEEE Transactions on Comm.*, 36(8), pp. 897-906, Aug 1988
- [5] Nikias, C. L., Mendel, J. M., "Signal Processing with Higher-Order Spectra," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 10-37, July, 1993
- [6] Gardner, W.A., "Exploitation of spectral redundancy in cyclostationary signals," *IEEE Signal Processing Magazine*, 8(2), pp. 14-36, April 1991
- [7] Gardner, W. A., Spooner, C.M., "Signal Interception: Performance Advantages of Cyclic-feature detectors," *IEEE Transactions on Comm.*, 40(1), pp. 149-159, Jan 1992
- [8] Spooner, C.M. and Gardner, W. A., "Robust feature detection for signal interception," *IEEE Transactions on Comm.*, 42(5), pp. 2165-2173, May 1994
- [9] Adams, E. R.; Gouda, M.; Hill, P. C. J., "Detection and Characterisation of DS/SS signals using higher-order correlation," *Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings*, 1, pp. 27-31, 1996

임 연 주(Yeon Ju Lim)

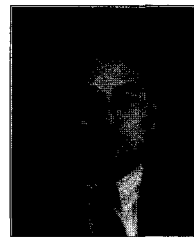
정회원



1998년 2월 : 대구대학교
정보 통신공학과 공학사
2000년 2월 : 한양대학교
전파 공학과 공학석사
2000년 3월~현재 : 한양대학교
전자통신전파공학과
박사과정

<관심분야> 확산대역 통신, OFDM 시스템,
적응형 변복조

임 정 석(Jeong Seok Lim)



1987년 2월 : 한양대학교
전자통신공학과 공학사
1989년 2월 : 한양대학교
전자통신공학과
공학석사
2002년 2월 : 한양대학교
전자통신공학과

박사과정수료

1998년 2월 ~ 2000년 1월 : 국방과학연구소
2000년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 부설
국가보안기술연구소 선임연구원

<관심분야> 채널코딩, 디지털통신

조 영 하(Young Ha Cho)

준회원



2002년 2월 : 한양대학교
전자컴퓨터전기제어공학부
공학사
2004년 2월 : 한양대학교
전자 통신전파공학과공학석사
2004년 3월~현재 : 삼성전기
무선고주파연구소

<관심분야> 확산대역 통신, OFDM 시스템

박 상 규(Sang Kyu Park)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교
전기공학 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

<관심분야> 디지털통신, 확산대역 통신, 부호이론,
PCS, IMT-2000