

새로운 채널 추정방법에 관한 연구

正會員 宋錫壹*, 韓榮烈**

On New Channel Estimation Method

Seogil Song*, Youngearl Han** *Regular Members*

※본 연구는 1998년 한국과학재단의 연구비에 의하여 이루어졌으며 지원에 감사드립니다.

요 약

본 논문은 이진 사운딩시퀀스를 이용하여 채널 임펄스응답을 측정하는 새로운 방법에 대하여 기술하였다. 이 새로운 방법은 한 개의 상관기를 이용하는 대신에 세 개의 상관기를 이용하나 이상적인 채널 임펄스응답을 얻을 수 있다. 본 제안 방법에서 이용되는 사운딩 시퀀스의 부류는, GSM에 기반을 둔 디지털 셀룰러 이동전화 시스템에서 사용하는 채널 임펄스응답측정 이진부호로서 0 지연과 중간 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영의 값을 갖는 채널응답측정을 위한 트레이닝 시퀀스이다. 또한 본 논문에서는 0 지연과 중간 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영이 되는 이진부호를 탐색하는 효과적인 방법을 제시한다.

ABSTRACT

This paper presents a new method for channel impulse response measurement with a suitably designed binary sounding sequence. This method results in ideal channel estimation using three correlators instead of one. This system complexity can be easily overcome by the present technologies. The class of sounding sequences used in this method are the training sequence for channel impulse response measurement with the zero values of autocorrelation function at all shifts except zero and middle shifts in digital cellular mobile telephone system based on GSM. Computer searches are carried out to find the suitable sounding sequences.

I. 서 론

페이딩현상은 기지국에서 이동국으로 송신한 신호가 다중경로에 의한 전파의 반사, 회절, 분산으로 인

하여 발생한다. 이러한 페이딩현상에 의한 성능의 열화를 보상하기 위하여 이동통신에서는 페이딩채널의 임펄스응답을 측정하여 등화기(equalizer)나 레이크수신기에서 사용하고있다[1, 2]. 페이딩채널의 임펄스응답을 측정하는 방법은 강한 임펄스형의 신호를 송신하거나 의사잡음부호나 페이딩채널의 임펄스응답을 측정하기 위한 트레이닝 시퀀스(training sequence)를 사용하고 있다. 페이딩채널의 임펄스응답을 측정하기 위한 이원

* 한국전자통신연구원

** 한양대학교 전자통신공학과

論文番號 : 98086-0226

接受日字 : 1998年 2月 26日

부호는 지연이 영일 때 자기상관함수 값이 영의 값을 갖거나 거의 영이 되는 이원부호를 사용하고 있다. 초과지연(excess delay)은 시골지역보다 도시환경에서 더 길며 도시지역에서는 수 μsec 정도이다. GSM시스템 [3]에서는 하나의 시간스롯(time slot)에 헤드비트를 포함한 57비트의 2개 메시지 부분과 그들 사이에 위치한 26비트의 트레이닝 시퀀스(training sequence)로 구성되어 있다. 26비트의 트레이닝 시퀀스는 페이딩 채널의 임펄스 응답추정에 사용되며 16비트의 이원신호의 앞뒤로 5비트를 첨가한 주기 16비트인 이원부호로 구성되어 있다. 대부분 이동통신환경에서 초과지연은 20 μsec 을 거의 넘지 않으므로 GSM시스템에서 5심볼 주기는 170.8 Kbps의 데이터 전송률에서 약 18 μsec 가 된다. 그러므로 GSM시스템에서는 자기상관함수의 값이 영의 지연일 때를 제외하고 앞뒤 지연이 5비트 일 때까지 자기상관함수의 값이 영이 되는 이원부호를 페이딩채널 임펄스응답 측정부호로 사용하고 있다. 표 1은 GSM시스템에서 사용하는 8개의 트레이닝 시퀀스를 수록하고 자기상관함수 값을 함께 보여주고 있다. 본 논문에서는 GSM시스템에서와 같이 3치(three values)의 자기상관함수 값을 갖는 이원부호의 효과적인 탐색과정을 제시하고 이를 바탕으로 컴퓨터탐색을 행하여 3치의 상관함수 값을 갖는 이원부호를 보여주고 있다. 또한 수신측에서 3개의 상관기를 사용하여 이상적인 페이딩채널의 임펄스응답을 측정할 수 있는 방법을 제시한다.

II. 사운딩(Sounding) 시퀀스

페이딩 채널 임펄스응답 측정을 위한 이상적인 사운

딩 시퀀스(sounding sequence)는 0 지연을 제외한 모든 지연 에서 주기적인 자기상관함수 값이 영을 갖는다. m시퀀스(Maximal-length sequence)는 자기상관함수 값이 0 지연에서 1의 값을 그리고 다른 모든 지연에서 $-1/N$ 의 자기상관함수 값을 갖는다. 여기서 N은 시퀀스의 주기이다. 큰 N 값에 대하여 m시퀀스(maximal-length sequences)는 피크값의 크기에 대한 피크 값이 아닌 자기상관 함수값이 상대적으로 작다. 그러므로 긴 m시퀀스는 사운딩시퀀스를 위해서는 거의 이상적이다. 주기 16인 GSM의 트레이닝 시퀀스는 표 1에서 보여준 것과 같이 0번과 8번 비트지연 혹은 0번과 7번, 8번, 9번 비트지연을 제외한 자기상관함수 값은 영의 값을 갖는다. 이것은 채널 임펄스측정이 7 혹은 8심볼까지 측정할 수 있음을 의미한다. 표 1에서 보여준 것과 같이 3치의 자기상관함수 값을 갖는 사운딩 시퀀스를 찾기위해서 다음과 같이 자기상관함수 특성을 고찰하였다[4].

[특성 1]

다음의 시퀀스는 같은 값의 자기상관함수 값을 갖는다.

- (a) 원래 시퀀스를 이전시킨 시퀀스
- (b) 원래 시퀀스를 역으로 배치한 시퀀스와 그것을 이전시킨 시퀀스
- (c) 원래 시퀀스에 보수를 취한 시퀀스를 이전시킨 시퀀스
- (d) 원래 시퀀스에 보수를 취하고 역으로 배치한 시퀀스와 그것을 이전시킨 시퀀스

[특성 2]

자기상관함수 값의 합은 식(1)과 같다.

표 1. GSM에서의 트레이닝 시퀀스와 자기상관함수 값

Table 1. Training sequences in GSM system and their values of autocorrelation function.

Binary sequence	Value of autocorrelation function
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 1-1 1	16 0 0 0 0 0 0 0 4 -8 4 0 0 0 0 0 0
-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 1-1-1-1	16 0 0 0 0 0 0 0 -4 -8 -4 0 0 0 0 0 0
-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 1-1-1 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 1-1 1 1 1-1 1	16 0 0 0 0 0 0 0 0 -12 0 0 0 0 0 0 0

$$\sum_{j=0}^{N-1} R(j) = (N-2k)^2, \quad N > j \geq 0 \quad (1)$$

$$R(j) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \cdot a_{i+j}, \quad a_i = \pm 1 \quad N > j \geq 0 \quad (2)$$

여기서 N 은 시퀀스의 주기이고 k 는 부호길이 N 인 시퀀스에서 “1”의 갯수이다.

[특성 3]

$$R(j) = N - 4(k - m), \quad 0 \leq j < N \quad (3)$$

여기서 m 은 원래 시퀀스와 j 번 이전된 시퀀스사이에서 일치하는 “1”의 갯수이다.

<증명>

원래 시퀀스와 j 번 이전된 시퀀스사이에서 같은 요소(element)의 갯수가 $N - 2(k - m)$ 이고 원래 시퀀스와 j 번 이전된 시퀀스사이에서 다른 요소의 갯수가 $2(k - m)$ 이다. 그러므로 모든 j 에 대하여 $R(j) = N - 2(k - m) + (-2(k - m)) = N - 4(k - m)$ 이 성립한다. 만일 k 가 부호길이 N 인 부호에서 “0”의 갯수이고 m 이 원래 시퀀스와 j 번 이전된 시퀀스사이에서 일치하는 “0”의 갯수라고 하면, 부호길이 N 인 시퀀스에서 “1”의 갯수는 $(N - k)$ 이고 원래 시퀀스와 j 번 이전된 시퀀스사이에서 일치하는 “1”의 갯수는 $(N - m - 2(k - m))$ 이다. 그러므로 모든 j 에 대하여 $R(j) = N - 4[(N - k) - (N - m - 2(k - m))] = N - 4(k - m)$ 이다. $j=0$ 일때 m 은 k 가 되므로 $R(0) = N$ 이다. 식(3)은 $R(j) = 0, j \neq 0$ 가 되기 위해서는 $N = 4(k - m)$ 이 되어야 하므로 시퀀스주기는 4의 배수가 되어야 한다.

[정리 1]

부호길이 $N = 4l, l = 2, 3, 4, \dots$ 의 주기 시퀀스를 갖는 시퀀스 $a = \{a_i\}, a_i = \pm 1, 1 \leq i \leq N$ 에서 0 지연과 $N/2$ 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영이고 $N/2$ 지연에서 자기상관함수 값이 음수 값을 갖는다고 가정한다. 만약에 이러한 시퀀스가 존재한다면 $N = 4l, l = 2, 3, 4, \dots$ 의 시퀀스주기를 갖는 시퀀스의 공통 자기상관함수는 식(4)와 같이 된다.

$$R(j) = \begin{cases} N, & j=0 \\ -(N-4), & j=N/2, N=4l, l=2,3,4,\dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

<증명>

0 지연과 $N/2$ 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영이고 $N/2$ 지연에서 자기상관함수 값이 음수 값을 갖는다고 가정하였기 때문에 다음 식이 성립한다.

$$0 \leq (N - 2k)^2 \leq N, \quad N = 4l, \quad l = 2, 3, 4, \dots \quad (5)$$

$$\frac{N - \sqrt{N}}{2} \leq k \leq \frac{N + \sqrt{N}}{2} \quad (6)$$

여기서 k 는 양의 정수이고 부호길이 N 인 시퀀스에서 “1”의 갯수이며, $N = 4l, l = 2, 3, 4, \dots$ 의 시퀀스주기에 대하여 k 의 공통 값은 $(N/2) - 1, N/2, (N/2) + 1$ 이다. $k = N/2$ 를 갖는 시퀀스가 0 지연과 $N/2$ 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영이고 $N/2$ 지연에서 자기상관함수 값이 음수 값을 갖는다는 가정을 만족하지 못한다는 것을 먼저 증명한다. $k = N/2$ 의 의미는 부호길이 N 인 시퀀스에서 -1 의 갯수와 $+1$ 의 갯수가 같음을 의미하므로 자기상관함수의 값은 식(7)과 그리고 식(8)과 같이 된다.

$$\sum_{j=0}^{N-1} R(j) = (N - 2k)^2 = (N - 2 \cdot \frac{N}{2})^2 = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{j=0}^{N-1} R(j) = R(0) + R(N/2) = N + (-N) \quad (8)$$

0 지연과 $N/2$ 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영이라고 가정했기 때문에 $N/2$ 지연에서의 자기상관함수 값은 $R(N/2) = -N$ 이 된다. 이것은 원래 시퀀스와 $N/2$ 지연된 시퀀스사이에서 일치하는 “1”이 없음을 의미한다. 이 때 시퀀스는 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$(a_1, a_2, \dots, a_{N/2}, a_{N/2+1}, \dots, a_N) \\ = (a_1, a_2, \dots, a_{N/2}, \bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_{N/2}) \quad (9)$$

여기서 \bar{a}_i 는 a_i 의 보수이다.

한번 지연된 자기상관함수에서 $a_i a_{i+1}$ 와 $\bar{a}_i \bar{a}_{i+1}$ 의 극성이 같고 또 $a_{N/2} \bar{a}_1$ 와 $\bar{a}_{N/2} a_1$ 도 극성이 같으므로 한번 지연된 자기상관함수의 값은 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} R(1) &= a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_{N/2-1} a_{N/2} \\ &\quad + a_{N/2} a_{N/2+1} + \dots + a_N a_1 \\ &= a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_{N/2-1} a_{N/2} + a_{N/2} \bar{a}_1 \\ &\quad + \bar{a}_1 \bar{a}_2 + \bar{a}_2 \bar{a}_3 + \dots + \bar{a}_{N/2-1} \bar{a}_{N/2} + \bar{a}_{N/2} a_1 \\ &= 2(a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_{N/2-1} a_{N/2} + a_{N/2} \bar{a}_1) \end{aligned} \quad (10)$$

그리고, 두 번 지연된 자기상관함수의 값은 식(11)과 같다

$$\begin{aligned} R(2) &= a_1 a_3 + a_2 a_4 + \dots + a_{N/2-1} a_{N/2+1} \\ &\quad + a_{N/2} a_{N/2+2} + \dots + a_{N-1} a_1 + a_N a_2 \\ &= a_1 a_3 + a_2 a_4 + \dots + a_{N/2-1} \bar{a}_1 + a_{N/2} \bar{a}_2 \\ &\quad + \bar{a}_1 \bar{a}_3 + \bar{a}_2 \bar{a}_4 + \dots + \bar{a}_{N/2-1} a_1 + \bar{a}_{N/2} a_2 \\ &= 2(a_1 a_3 + a_3 a_5 + \dots + a_{N/2-1} \bar{a}_1) \\ &\quad + 2(a_2 a_4 + a_4 a_6 + \dots + a_{N/2} \bar{a}_2) \end{aligned} \quad (11)$$

$1 \leq i \leq N/2$ 에서 a_i 가 임의의 +1 혹은 -1의 값을 가질 수 있기 때문에 식(11)은 식(12)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} R(2) &= 2[a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_{N/4} \bar{a}_1] \\ &\quad + 2[b_1 b_2 + b_2 b_3 + \dots + b_{N/4} \bar{b}_1], \quad (12) \\ a_i &= b_i = \pm 1, \quad 1 \leq i \leq N/4 \end{aligned}$$

위의 식을 간단하게 표기하기 위해서 다음과 같이 $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 와 $C_N(1, \mathbf{a})$ 을 정의한다.

여기서 C 의 첨자 N 는 시퀀스의 주기를 의미한다.

$$C_N^*(1, \mathbf{a}) = a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_{N-1} a_N + a_N \bar{a}_1 \quad (13)$$

$$C_N(1, \mathbf{a}) = a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_{N-1} a_N + a_N a_1 \quad (14)$$

부호길이 $N=4l$, $l=2, 3, 4, \dots$ 인 시퀀스주기에서 자기상관함수 $R(N/2)=-N$ 을 갖는 $R(1)$ 와 $R(2)$ 은 식(15)과 식(16)으로 표현될 수 있다.

$$R(1) = 2 \cdot C_{N/2}^*(1, \mathbf{a}) \quad (15)$$

$$R(2) = 2[C_{N/4}^*(1, \mathbf{a}) + C_{N/4}^*(1, \mathbf{b})] \quad (16)$$

먼저, $a_i = \pm 1$, $1 \leq i \leq 2$ 의 모든 가능한 값에 대하여 고찰하여 보면

$$C_2^*(1, \mathbf{a}) = a_1 a_2 + a_2 \bar{a}_1 = 0 \quad (17)$$

이 되고, 마찬가지로, 식(18)을 얻을 수 있다.

$$C_2(1, \mathbf{a}) = a_1 a_2 + a_2 a_1 = 2(a_1 a_2) = \pm 2 \quad (18)$$

$N \geq 2$ 에서 $C_N(1, \mathbf{a})$ 와 $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 로부터 $C_{N+1}^*(1, \mathbf{a})$ 와 $C_{N+1}(1, \mathbf{a})$ 을 식(19)에서와 같이 반복적으로 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{N+1}^*(1, \mathbf{a}) &= a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_N a_{N+1} + a_{N+1} \bar{a}_1 \\ &= [C_N(1, \mathbf{a}) + a_1 \bar{a}_1] \cup [C_N^*(1, \mathbf{a}) + \bar{a}_1 \bar{a}_1] \quad (19) \\ &= [C_N(1, \mathbf{a}) - 1] \cup [C_N^*(1, \mathbf{a}) + 1], \quad N \geq 2 \end{aligned}$$

마찬가지로, 합집합표기의 왼쪽에 a_1 과 a_{N+1} 이 같은 극성을 갖게하고 합집합표기의 오른쪽에 \bar{a}_1 와 a_{N+1} 이 같은 극성을 갖게하면 $C_{N+1}(1, \mathbf{a})$ 는 식(20)과 같다.

$$\begin{aligned} C_{N+1}(1, \mathbf{a}) &= a_1 a_2 + a_2 a_3 + \dots + a_N a_{N+1} + a_{N+1} a_1 \\ &= [C_N(1, \mathbf{a}) + a_1 a_1] \cup [C_N^*(1, \mathbf{a}) + \bar{a}_1 a_1] \quad (20) \\ &= [C_N(1, \mathbf{a}) + 1] \cup [C_N^*(1, \mathbf{a}) - 1], \quad N \geq 2 \end{aligned}$$

표 2에서 부호길이 N 이 10까지의 $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 와 $C_N(1, \mathbf{a})$ 의 값을 나타내고 있다.

일반적으로, $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 는 부호길이 N 이 홀수일 때, $N=4l$, $l=1, 2, 3 \dots$ 일 때, $N=2+4l$, $l=1, 2, 3 \dots$ 일 때 각각 식(21), 식(22), 식(23)과 같다.

표 2. $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 와 $C_N(1, \mathbf{a})$ 의 값

Table 2. Values of $C_N^*(1, \mathbf{a})$ and $C_N(1, \mathbf{a})$.

N	$C_N^*(1, \mathbf{a})$	$C_N(1, \mathbf{a})$
2	0	2,-2
3	1,-3	3,-1
4	2,-2	4, 0,-4
5	3,-1,-5	5, 1,-3
6	4, 0,-4	6, 2,-2,-6
7	5, 1,-3,-7	7, 3,-1,-5
8	6, 2,-2,-6	8, 4, 0,-4,-8
9	7, 3,-1,-5,-9	9, 5, 1,-3,-7
10	8, 4, 0,-4,-8	10, 6, 2,-2,-6,-10

$$C_N^*(1, \mathbf{a}) = N - (2 + 4m), \quad m = 0, 1, 2, \dots, \frac{N-1}{2} \quad (21)$$

$$C_N^*(1, \mathbf{a}) = N - (2 + 4m), \quad m = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (22)$$

$$C_N^*(1, \mathbf{a}) = N - (2 + 4m), \quad m = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (23)$$

여기서 $C_N^*(1, \mathbf{a}) = N - (2 + 4m) = 4l - (2 + 4m) = 4(l - m) - 2$, $m = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$ 이기 때문에 부호길이 $N = 4l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 은 영의 값을 갖는다. 마찬가지로, $C_N^*(1, \mathbf{a}) = N - (2 + 4m) = (2 + 4l) - (2 + 4m) = 4(l - m)$, $m = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$ 이기 때문에 부호길이 $N = 2 + 4l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 $C_N^*(1, \mathbf{a})$ 이 영의 값을 가질 수 있다.

그러므로, 식(15)로부터 부호길이 $N = 8l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 시퀀스의 $R(1)$ 은 영이 아닌 값을 가지며 부호길이 $N = 4 + 8l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 시퀀스의 $R(1)$ 은 영의 값을 가질 수 있다.

그리고 다음에 부호길이 $N = 4 + 8l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 시퀀스의 $R(2)$ 가 영이 아닌 값을 가지는 것을 증명하기 위하여 식(16)으로부터 식(24)을 얻는다.

$$\begin{aligned} & 2[C_{N/4}^*(1, \mathbf{a}) + C_{N/4}^*(1, \mathbf{b})] \\ &= 2\left[\frac{N}{4} - (2 + 4m) + \frac{N}{4} - (2 + 4n)\right] \\ &= 2\left[\frac{4 + 8l}{4} - (2 + 4m) + \frac{4 + 8l}{4} - (2 + 4n)\right] \quad (24) \\ &= 8(l - (m + n)) - 4, \quad m, n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N/4 - 1}{2} \end{aligned}$$

그런데 이것은 부호길이 $N = 4 + 8l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 시퀀스의 $R(2)$ 이 영이 아닌 값을 가짐을 의미한다.

표 3은 부호길이 $N = 4l$, $l = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 에서 $R(N/2) = -N$ 를 갖는 시퀀스의 $R(1)$ 과 $R(2)$ 값을 나타내고 있다.

표 3. $R(N/2) = -N$ 를 갖는 시퀀스의 $R(1)$ 와 $R(2)$ 의 값
Table 3. Values of $R(1)$ and $R(2)$ of sequence having $R(N/2) = -N$.

N	$R(1)$	$R(2)$
8	4,-4	0
12	8, 0,-8	4,-4,-12
16	12, 4,-4,-12	8, 0,-8
20	16, 8, 0,-8,-16	12, 4,-4,-12,-20
24	20, 12, 4,-4,-12,-20	16, 8, 0,-8,-16
28	24, 16, 8, 0,-8,-16,-24	20, 12, 4,-4,-12,-20,-28

만약, 시퀀스의 $R(N/2)$ 가 $(-N)$ 를 갖는다고 가정하면 부호길이 $N = 8l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 시퀀스의 $R(1)$ 와 부호길이 $N = 4 + 8l$, $l = 1, 2, 3, \dots$ 에서 시퀀스의 $R(2)$ 가 항상 영이 아닌 값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

<예 제>

예제로서 부호길이 $N = 12$ 의 주기를 갖는 시퀀스를 관찰해 보면 $R(1)$ 은 식(25)와 같다.

$$\begin{aligned} R(1) &= a_1a_2 + a_2a_3 + a_3a_4 + a_4a_5 + a_5a_6 + a_6a_7 \\ &\quad + a_7a_8 + a_8a_9 + a_9a_{10} + a_{10}a_{11} + a_{11}a_{12} + a_{12}a_1 \\ &= a_1a_2 + a_2a_3 + a_3a_4 + a_4a_5 + a_5a_6 + a_6\bar{a}_1 \\ &\quad + \bar{a}_1\bar{a}_2 + \bar{a}_2\bar{a}_3 + \bar{a}_3\bar{a}_4 + \bar{a}_4\bar{a}_5 + \bar{a}_5\bar{a}_6 + \bar{a}_6a_1 \quad (25) \\ &= 2(a_1a_2 + a_2a_3 + a_3a_4 + a_4a_5 + a_5a_6 + a_6\bar{a}_1) \\ &= 2 \cdot C_6^*(1, \mathbf{a}) \end{aligned}$$

여기서 $C_6^*(1, \mathbf{a})$ 는 4, 0, -4의 값을 갖는다. 그러므로 $R(1)$ 에서 영 값을 갖는 자기상관함수 값이 발생할 가능성이 있으며, $R(2)$ 를 관찰하여 보면 식(26)과 같다.

$$\begin{aligned}
 R(2) &= a_1 a_3 + a_2 a_4 + a_3 a_5 + a_4 a_6 + a_5 a_7 + a_6 a_8 \\
 &+ a_7 a_9 + a_8 a_{10} + a_9 a_{11} + a_{10} a_{12} + a_{11} a_1 + a_{12} a_2 \\
 &= a_1 a_3 + a_2 a_4 + a_3 a_5 + a_4 a_6 + a_5 \bar{a}_1 + a_6 \bar{a}_2 \\
 &+ \bar{a}_1 \bar{a}_3 + \bar{a}_2 \bar{a}_4 + \bar{a}_3 \bar{a}_5 + \bar{a}_4 \bar{a}_6 + \bar{a}_5 a_1 + \bar{a}_6 a_2 \\
 &= 2(a_1 a_3 + a_3 a_5 + a_5 \bar{a}_1) + 2(a_2 a_4 + a_4 a_6 + a_6 \bar{a}_2) \\
 &= 2[C_3^*(1, a) + C_3^*(1, b)]
 \end{aligned} \tag{26}$$

여기서 $R(2)$ 는 4, -4, -12의 값을 가질 수 있으며 특히 시퀀스 (-1-1 1 1-1-1 1 1-1-1 1)에서는 $R(1)=0$ 와 $R(2)=-12$ 의 값을 갖는다.

그리고 $k=(N/2)-1$ 와 $k=(N/2)+1$ 에서 $\sum_{j=0}^{N-1} R(j)$ 는 식(27)과 같다.

$$\sum_{j=0}^{N-1} R(j) = [N-2((N/2)-1)]^2 = [N-2((N/2)+1)]^2 = 4 \tag{27}$$

앞에서 시퀀스가 0 지연된 것과 $N/2$ 지연된 것을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영의 값을 갖는다고 가정하였으므로 이들의 자기상관함수 값의 합은 식(28)과 같으며

$$4 = R(0) + R(N/2) = N + (4 - N) \tag{28}$$

부호길이 $N=4l$, $l=2, 3, 4, \dots$ 의 시퀀스가 존재한다면 식(29)의 공통 자기상관함수 값을 갖는다.

$$R(j) = \begin{cases} N, & j=0 \\ -(N-4), & j=N/2, N=4l, l=2, 3, 4, \dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{29}$$

$k=N/2-1$ 와 $k=N/2+1$ 는 $N/2$ 지연을 제외한 모든 지연에서 부호길이 $N=4l$, $l=2, 3, 4, \dots$ 인 시

표 4. 3가지의 특정한 자기상관함수 값을 갖는 시퀀스
Table 4. Sequence with three-valued autocorrelation function.

8 bits	
Value of autocorrelation function	8 0 0 0 -4 0 0 0
Binary sequence	-1 -1 -1 -1 1 -1 1 1
12 bits	
Value of autocorrelation function	12 0 0 0 0 0 -8 0 0 0 0 0
Binary sequence	-1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1
16 bits	
Value of autocorrelation function	16 0 0 0 0 0 0 0 -12 0 0 0 0 0 0
Binary sequence	-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 1
20 bits	
Value of autocorrelation function	20 0 0 0 0 0 0 0 0 -16 0 0 0 0 0 0 0 0
Binary sequence	-1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 1
24 bits	
Value of autocorrelation function	24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -20 0 0 0 0 0 0 0 0
Binary sequence	-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 1-1-1 1-1-1-1 1 1 1-1 1-1 1 1 1 1
28 bits	
Value of autocorrelation function	28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Binary sequence	-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 -1-1-1-1-1 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 1-1 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 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 1-1-1 1 1-1 1-1-1 1 1 1 1-1 1 1

퀀스가 자기상관함수 값이 영이 되기위한 필요조건이 지 충분조건은 아니다.

부호길이 N이 4일 때 R(N/2)가 영이되는 이상적인 사운딩 시퀀스가 (1,-1,-1,-1)이라는 것이 알려져 있다. 정리 1의 특성을 갖는 28비트까지의 동기시퀀스를 찾기 위하여 정리 1의 조건을 가지고 컴퓨터탐색을 하였다. 표 4에 0 지연과 N/2 지연을 제외한 모든 지연에서 부호길이 N=4l, l=2,3,4,5,6,7인 자기상관함수 값이 영을 갖는 시퀀스를 보여주고 있다. 표 4에 수록한 시퀀스는 특성 1에서 하나의 시퀀스만 수록하였으며, 예로 8비트 사운딩 시퀀스에서 동일한 자기상관함수 값을 갖는 시퀀스는 32개가 존재한다.

III. 임펄스 응답을 위한 측정시스템

본 논문에서는 N심볼까지 페이딩채널 임펄스응답을 측정할 수 있는 방법을 제시한다. 본 논문에서의 사운딩 측정시스템은 0 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영이 되는 효과가 있다. 채널 임펄스응답은 수신기에 저장된 사운딩 시퀀스와 수신된 신호와의 상호상관함수값을 계산하여 알 수 있다[5]. 수신된 신호는 채널 임펄스응답과 사운딩 시퀀스의 컨볼루션으로 표현될 수 있다. GSM시스템에서 사운딩 시퀀스의 자기상관함수는 사운딩 시퀀스의 가운데 값 주위의 ±5비트 내에서 델타함수로 되며 델타함수와 채널 임펄스응답의 컨볼루션은 채널 임펄스응답이 된다. 그림 1에서의 사운딩 측정시스템은 정리 1의 특성을 갖는 사운딩 시퀀스를 이용하여 N심볼까지 페이딩 채널임펄스응답을 측정할 수 있다.

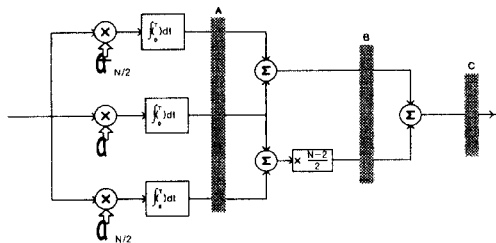


그림 1. 임펄스응답 측정시스템의 블럭 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of impulse response measurement system.

그림 1에서, $\mathbf{a} = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_N)$ 는 $a_i = \pm 1$, $1 \leq i \leq N$ 인 사운딩 시퀀스이다. 여기서 $\bar{\mathbf{a}}$ 는 \mathbf{a} 의 보수이고 $\mathbf{a}_{N/2}$ 는 \mathbf{a} 를 N/2 지연을 의미하며 T는 시퀀스의 시간주기를 나타낸다. 채널이 왜곡이 없는 채널이라고 가정할 때 $\bar{\mathbf{a}}_{N/2}$ 와 \mathbf{a} 의 상관함수와 \mathbf{a} 의 자기상관함수 그리고 $\mathbf{a}_{N/2}$ 와 \mathbf{a} 의 상관함수를 그림 2에 보여주고 있다.

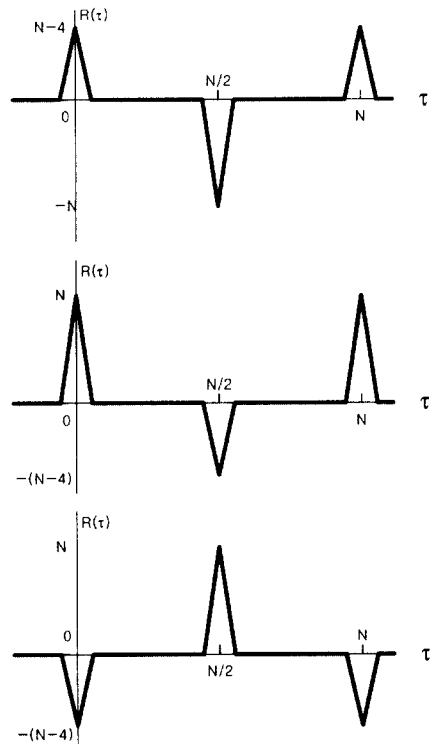


그림 2. 점 A에서의 상관함수
Fig. 2 Correlation functions at point A.

그림 2에서 아래 2개 가지의 상관함수와 위에 2개 가지의 상관함수가 각각 합해지고 아래 2개 가지의 합해진 상관함수는 $\frac{N-2}{2}$ 에 의해서 곱해진다. 점 B에서 2개의 상관함수값이 그림 3에 보여주고 있으며 그림 3에서 상관함수의 중간 값의 제거는 2개의 상관함수의 합에 의해서 제거될 수 있으며 그림 4에서와

같이 이상적인 사운딩 시퀀스의 자기상관함수를 얻을 수 있다. 그리고 출력을 (4N-8)으로 나눔으로서 원래 임펄스응답으로 정규화될 수 있으며 상관함수의 가운데 값의 제거는 채널 임펄스응답측정에 아무런 영향을 주지 않는다. GSM시스템에서 본 논문의 방법을 이용한다면 5 심볼주기까지 측정하기 위해서 26비트가 아닌 18비트(가운데 8비트, 왼쪽과 오른쪽에 각각 5비트)로 가능하다. 본 임펄스응답 측정시스템은 시스템에서 최소한의 부호길이로 이상적인 사운딩 시퀀스를 이용하는 효과를 나타낼 수 있으며, DSP칩을 이용하여 쉽게 구현할 수 있다.

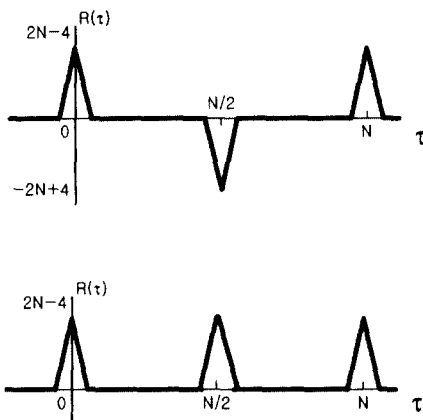


그림 3. 점 B에서의 상관함수
Fig. 3 Correlation functions at point B.



그림 4. 점 C에서의 상관함수
Fig. 4 Correlation function at point C.

IV. 결 론

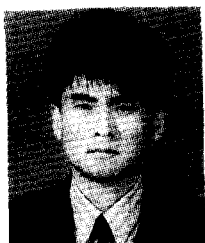
본 논문에서는 0 지연과 중간지연을 제외하고는 자기상관함수 값이 0이 되는 이전부호를 탐색하는 효

과적이고 체계적인 방법을 제시하였다. 또한 본 논문은 3치(3-level)의 자기상관함수 값을 갖는 사운딩 시퀀스를 이용하여 페이딩채널 임펄스응답을 측정하기 위한 새로운 측정시스템을 제안하였다. 이 사운딩시퀀스는 0 지연과 중간 지연을 제외한 모든 지연에서 자기상관함수 값이 영의 값을 갖는다. 이 사운딩 측정시스템은 채널 임펄스응답을 추정하는 데 사용할 수 있으며 사운딩 시퀀스를 이용하는 효과를 갖는다.

참 고 문 헌

1. D.C.Cox and R.P.Leck, "Distribution of multipath delay spread and average excess delay for 910MHz urban mobile radio path," IEEE Trans. Antenna Propagt., vol. AP-23, pp.206-213, Mar. 1975.
2. T.S.Rappaport, S.Y.Seidel and R.Singh, "900MHz multipath propagation measurement for U.S. digital cellular radio telephone," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol. VT-39, pp.132-139, May 1990.
3. Recommendation GSM 04.01, MS-BS Interface General Aspects and Principles, 1988.
4. S.W.Golomb, Shift Register Sequences, London: Holden-Day Inc., 1967.
5. G.D'aria and V.Zingarelli, "Results of fast Kalman and Viterbi adaptive equalizer for mobile radio with CEPT/GSM system characteristics," IEEE Globecom. '88, pp.815-819, Hollywood FL., Nov. 1988.
6. W.C.Y.Lee, Mobile Cmmunication Engineering, New York :McGraw-Hill Book Co., 1982.
7. D.C.Cox, "Correlation bandwidth and delay spread multipath propagation statistics for 910MHz urban mobile radio channels," IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, pp.1271-1280, Nov.1975.
8. D.C.Cox, "910MHz urban mobile radio : Multipath characteristics in New York city," IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, pp.1188-1194, Nov. 1973.
9. G.L.Turin, "Introduction to spread spectrum anti-multipath techniques and their application to urban digital radio," PROC. of IEEE, vol. 68, March 1980.
10. R.E.Ziemer and R.L.Peterson, Digital Communic-

ations and Spread Spectrum, New York : Macmillan Publishing Co., 1985.



宋 錫 董(Song Seog Il) 정회원
1985년 2월 : 한양대학교 전자통신
공학과(공학사)
1987년 2월 : 한양대학교 전자통신
공학과(공학석사)
1987년 2월~현재 : 한국전자통신연
구원 산업지도팀 선
임연구원

韓 榮 烈(Han Young Yearl)
제 22권 5호 참조

정회원