

일반논문-06-11-4-13

# 새로운 이동 채널 모델 및 추정 알고리즘을 이용한 이동 DTV 수신 성능 개선에 관한 연구

이 종 현<sup>a)</sup>, 김 광 호<sup>b)</sup>, 차 재 상<sup>b)‡</sup>

## Study on Improvement of DTV Signal Reception Performance Using New Mobile Channel Modelling and Estimation Algorithm

Chonghyun Lee<sup>a)</sup>, Kwangho Kim<sup>b)</sup>, and Jaesang Cha<sup>b)‡</sup>

### 요 약

최근 ATSC 방식의 DTV 수신기의 성능을 개선하기 위하여 다중 안테나를 이용한 빔형성 기술을 사용함으로써 수신 성능을 개선하려는 많은 연구는 진행 중이다. 본 논문에서는 다양한 이동 채널을 모델링 할 수 있는 이동 채널 모델을 제안하고, 필드 동기에는 PN511을 이용한 이동 채널 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 채널 추정 알고리즘은 IF 대역에서 비동기적으로 자기상관함수의 최대점을 추출하는 방식으로 동기획득이 필요치 않는 알고리즘이다. 또한 본 논문에서는 속도가 고려된 채널 모델을 제안하였으며 제안된 채널 모델을 이용하여 최적의 수신 성능을 보장할 수 있는 수신기 구조 및 빔형성 결합 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안된 구조는 상용화된 수신기 전단에 추가하여 수신 성능을 높일 수 있는 구조이다. 제안된 모델, 추정기법 및 시스템의 성능은 컴퓨터 모의 실험을 통하여 알고리즘의 성능을 분석하였다.

### Abstract

Recently, many research initiatives have been underway to improve reception performance of ATSC based DTV signal in mobile channel by adopting multiple antennas. In this paper, we propose a new mobile channel model which can be applicable to any array geometry. And then we propose new channel estimation algorithm which uses PN511 sequence in field synch. The proposed algorithm is to estimate channel by correlating the input signal in IF frequency band and finding maximum peak, which does not need complicated synchronization circuit. Finally, we propose new receiver structures which can be implemented at the front-end of the existing receiver with no modification. With computer simulation, we verify the performance of the proposed model and verify the performance of the receiver structure with computer simulation.

Keyword: Channel estimation, mobile channel model, digital TV, array antenna, beamforming

## I. 서 론

영국과 미국에서 시작한 디지털 방송은 2000년 ATSC 방식의 시험 방송을 송출함으로써 우리나라도 본격적인 디지털 방송 시대를 맞고 있다. 고화질 및 음질을 제공할 수

a) 제주대학교 해양과학부

Dept. of Ocean Science, Cheju National Univ.

b) 서울산업대학교 매체공학과

Dept. of Media Engineering, Seoul National Univ. of Technology

‡ 교신저자 : 차재상 (chajs@snut.ac.kr)

※ 본 연구성과물의 일부는 2005,6년 산업자원부 신기술실용화 사업의 지원에 의하여 이루어졌음

있는 디지털 방송을 이동 환경에서도 수신할 수 있도록 DTV 수신기의 성능 개선을 높이기 위한 연구가 전 세계적 진행되고 있다. 그 연구의 일환인 다중 안테나 기술은 이동통신 분야에서 통신 성능을 향상시키기 위해서 우선적으로 도입되었으며, 이 기술의 성능을 검증하기 위한 다양한 CDMA기반의 시공간 채널 추정 알고리즘들이 발표되었다.

최근, 이동통신에서 응용된 빔형성 기술을 사용함으로써 DTV 수신성능을 개선하려는 많은 연구가 진행 중이다 [1][2]. 즉, 다수의 안테나 소자를 이용하여 신호를 수신하고 시간 영역에서의 신호 처리뿐만 아니라 공간 영역에서 신호 처리를 통하여 원하는 신호의 입사 방향 (DOA, direction of arrival)으로 안테나 빔을 형성하고, 원치 않는 간섭신호에 대해서는 안테나의 이득을 감소시킴으로써 신호 대 잡음비(SNR, signal to noise ratio)가 높임으로써 수신 성능을 높이는 연구가 진행 중이다. ATSC DTV 상에서의 수신 성능 개선을 위한 연구 결과로 [3]에서 SFN 상에서의 MIMO (Multi Input Multi Output)구조를 이용하여 수신 성능을 개선할 수 있는 방식이 제안되었는데, 제안된 방식은 다중 송신기(Multi Input)에서 송신되는 신호를 안테나 배열(Multi Output)을 사용하여 DOA를 추정하여 빔형성을 하고, 그 출력 신호를 적응 등화기를 거쳐 Ghost를 제거하여 수신신호를 개선하는 방식이다. 그러나 [3]에서 제안된 방식은 복잡한 구조와 처리 과정을 요구하는 단점을 지니고 있다. 한편, [4]에서는 실내 수신 성능 개선을 위해 안테나 다이버시티를 이용하는 기술이 제안되어 60% 성능 향상을 얻었다는 연구결과가 발표되었으며, [5]에서는 [4]에서의 연구결과를 더욱 향상시켜 제안된 안테나 다이버시티 알고리즘을 적용할 경우 수신신호가 TOV를 넘는 경우가 70%까지 얻을 수 있다고 발표하였다. 또한, TV 수상기 내부에 능동 안테나를 장착하여 다이버시티 및 편파를 이용하여 실내 수신을 높일 수 있는 기술이 [6]에서 제안되었다.

그러나 현재까지 제안된 다이버시티 또는 빔형성 기술은 실제 DTV 이동 채널 환경에서 그 성능 확인하기 어려울 뿐만 아니라, 기저대역의 처리를 필요로 하는 기술이다. 따라서 상용 수신기 사용이 불가능하여 독자적인 수신기를

제작해야 동작하는 구조를 가지고 있어 제약성을 가지고 있다.

따라서 실제 채널 환경하에서 수신 성능 향상을 위해서는 언급된 기술적 단점들을 해결하기 위한 기술 개발이 필요하다. 즉, 다양한 이동 채널 환경에서도 동작할 수 있는 안테나 다이버시티와 빔형성 결합한 새로운 수신 알고리즘 개발과 개발된 알고리즘을 실제 상용 수신기를 부착하여 구현할 수 있는 구조 연구 및 개발이 시급하다.

본 논문에서는 이를 해결할 수 있는 이동 채널 모델 및 알고리즘과 구조를 제시한다. 즉, 이동이 고려된 시공간 채널 모델을 제시하고, 이 모델을 바탕으로 이동 수신에 적합한 구조를 제시한다. 구체적인 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DTV의 8VSB 전송 표준을 살펴본다. 3장에서는 새로운 시공간 채널 모델을 소개하며, 4장에서는 채널 추정 알고리즘 및 시공간 수신기 구조를 제시하고, 5장에서는 시공간 채널을 적용하여 고정 및 적응 빔 구조에 대한 성능 분석과 실험 결과를 제시하였다. 끝으로 6장에서는 본 연구에 대한 결론을 맺는다

## II. 8VSB 전송 표준 및 시스템 특성

8VSB 방식 HDTV 시스템은 6MHz 대역으로 19.28 MHz의 페이로드(payload) 자료 전송률을 지원한다. 8VSB 방식의 지상파 방송 송신기의 구조는 아래 그림 1과 같다.

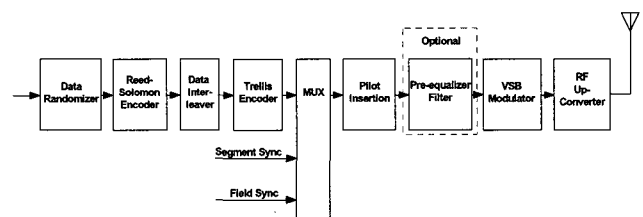


그림 1. 8VSB 방식의 ATSC-DTV 송신기의 구조  
Fig. 1. Transmitter architecture of 8VSB based ATSC-DTV

격자 부호화 과정을 거친 데이터는 세그먼트 동기(sync)와 필드 동기가 포함되어 그림 2와 같이 데이터 프레임울

형성한다.

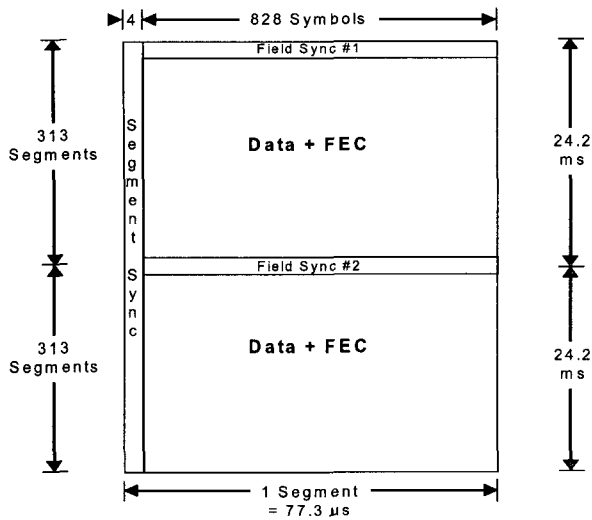


그림 2. 8VSB 방식의 Data Frame  
Fig. 2. Data Frame architecture of 8VSB method

각 데이터 프레임은 2개의 데이터 필드로 구성되고, 각 데이터 필드는 313개의 데이터 세그먼트로 구성된다. 각 데이터 필드의 첫번째 데이터 세그먼트는 유일한 동기화 신호(데이터 필드 동기)이고 이는 수신기에서 등화기에 사용될 훈련열을 포함하고 있다. 나머지 312개의 데이터 세그먼트는 각각 순방향 오류 정정 부호가 더해진 188 바이트 수송 패킷 데이터와 동등한 data를 전송한다. 각 데이터 세그먼트는 832개의 심볼로 구성되어 있고, 처음 4 심볼은 이진 형태로 전송되며 세그먼트 동기를 제공한다. 이 데이터 세그먼트 싱크 신호는 188 바이트 MPEG 겸용 전송 패킷의 싱크 바이트도 나타낸다. 각 데이터 세그먼트의 남은 828 심볼은 나머지 순방향 오류 정정 부호가 더해진 187 바이트 수송 패킷 데이터와 동등한 data를 전송한다. 이 828개 심볼들은 한 심볼당 3 비트가 표현되는 8-레벨로 전송된다. 따라서, 각 데이터 세그먼트는 828×3=2484 데이터 비트로 구성된다. 이진 데이터 세그먼트 싱크와 데이터 필드 동기 신호와 함께 결합된 8-레벨 심볼들은 단일 반송파로 억압된 반송파(suppressed-carrier) 변조된다. 그러나 전송되기 전 낮은 측파대(the lower sideband)의 대부분은 제거된다. 그 결과로 스펙트럼은 band의 가장자리를 제외한 평평한 형태를 띤다.

데이터는 데이터 세그먼트로 나누어질 뿐만 아니라 데이터 필드로 나누어지며 이 각각의 필드는 313 세그먼트로 이루어진다. 각각의 필드는 그림 3에 나타나 있는 데이터 필드 동기 세그먼트로 시작한다

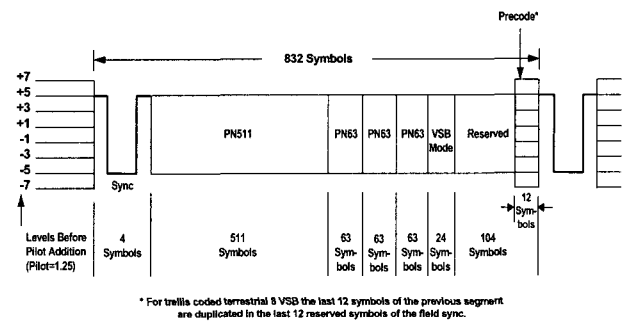


그림 3. 8VSB 데이터 필드의 필드동기 세그먼트  
Fig. 3. Filed Synchronous Segment of 8VSB Data Field

### III. 시공간 채널 모델

본 장에서는 새로운 시공간 채널 모델을 제시하고 각 모델의 채널 파라미터의 의미와 특성에 대해 설명 한다. 제안된 모델은 GBSBEM (Geometrically Based Single Bounce Elliptical Model) 모델을 기반으로 하고 있으며, 최장 Time delay를 가진 채널을 효과적으로 모델링 할 수 있는 모델로 타원 내부에는 Scatterer들이 균일하게 분포되어 있다고 가정하여 모델링 한 것이다[5]. 모델을 구성하는 구성도와 채널 파라미터는 아래 그림 4에 나타나 있다.

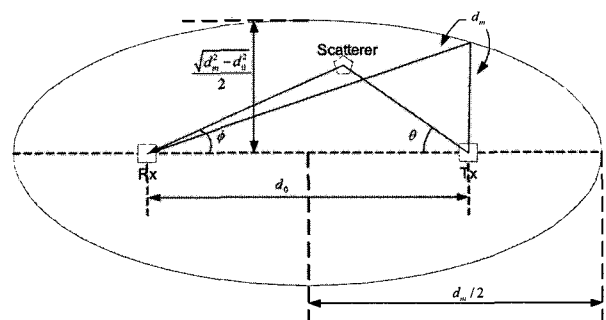


그림 4. GBSBEM 모델  
Fig. 4. GBSBEM Model

상기한 GBSBEM 모델의 각각의 채널 파라미터는 다음과 같은 의미를 갖는다.

- 1)  $\phi$  : 수신 안테나와 scatterer와의 평균 각도, 즉 DOA
- 2)  $\theta$  : 송신 와의 scatterer와 이루는 각도 (DOD)
- 3)  $d_0$  : 송수신기의 거리

타원내부에 scatterer들이 균일하게 분포하고 있을 경우에 시간지연에 의한 수신되는 신호의 확률밀도함수를 표시하면 다음과 같다.

$$f_i(\tau) = \frac{c}{\beta d_0} \frac{2(c\tau/d_0)^2 - 1}{\sqrt{(c\tau/d_0)^2 - 1}} \quad \tau_0 \leq \tau \leq \tau_m \quad (1)$$

여기서  $\beta = \left(\frac{c\tau_m}{d_0}\right) \sqrt{\left(\frac{c\tau_m}{d_0}\right)^2 - 1}$   $c$ 는 빛의 속도,  $\tau_0 = d_0/c$ ,  $\tau_m$ 은 최대 지연 시간으로서 타원의 표면에 있는 scatterer들로 인한 지연시간이다. 시간지연과 DOA에 의한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_{\phi,r}(\phi, r) = \frac{(r^2 - 1)(r^2 - 2r \cos \phi + 1)}{\pi \beta (r - \cos \phi)^3} \quad (2)$$

여기서,

$$\beta = r_m \sqrt{r_m^2 - 1} \quad \text{and} \quad r_m = \tau_m / \tau_0$$

위의 GBSBEM 모델을 기반으로 배열 안테나가 이동을 할 경우에 적용가능한 모델을 제안한다. 제안된 모델을 V-GBSBEM (Velocity-GBSBEM을 의미한다.)이라 명명하며 GBSBEM 모델에 속도 (속력과 방향)가 추가된 모델이다. 즉, 배열 안테나가 움직일 경우 발생하는 Doppler를 고려하기 위하여 그 움직이는 방향에 대한 정보를 입력 파라미터로 사용한 모델이다. 모델생성에 필요한 파라미터를 도출하기 위한 모델은 아래 그림 5에 제시하였다.

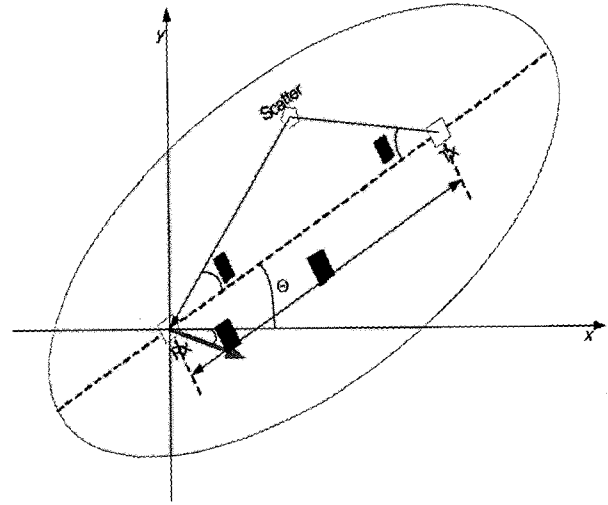


그림 5. 제안된 V-GBSBEM 모델  
Fig. 5. Proposed V-GBSBEM Model

제안된 모델에 사용되는 파라미터의 의미는 아래와 같다.

- $d_0$ : 송수신기의 거리()
- $\nu_\theta$ : 0도를 기준으로 한 배열안테나의 각도
- $\nu$ : 수신기의 이동속력
- $\Theta$ : 송수신간 사이의 직접파의 입사각 (DOA)
- $\phi_i$ : i번째 scatterer의 입사각도

여기서, 만약 안테나가 무지향성 안테나이고, 자유공간을 가정할 때, 송신기에서 수신기까지  $d_{ref}$  떨어진 곳의 신호의 세기,  $P_{ref}$ 는 다음과 같다.

$$P_{ref} = P_T - 20 \log \left( \frac{4\pi d_{ref} f}{c} \right) \quad (\text{dBm}) \quad (3)$$

여기서  $P_T$ 는 송신안테나의 출력을 의미한다. 직접파의 신호의 크기  $P_0$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$P_0 = P_{ref} - 10n \log \left( \frac{c\tau_0}{d_{ref}} \right) + G_r(0) + G_t(0) \quad (4)$$

여기서  $G_r(0)$ ,  $G_t(0)$ 은 수신 및 송신안테나의 이득을 의미한다.

위의 식으로부터  $i$ 번째 Scatterer를 맞고 온 신호의 크기와 steering vector는 다음 식으로 주어진다.

$$P_i = P_{ref} - 10n \log \left( \frac{c\tau_i}{d_{ref}} \right) - L_r + G_r(0) + G_t(0) \quad (5)$$

여기서  $L_r$ 은 scatterer에 의한 신호감쇄를 나타낸다.

그리고  $i$ 번째 Scatterer의 배열안테나 응답과 도플러 주파수는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{a}_i = \mathbf{a}(\Theta + \phi_i) \quad (6)$$

$$F_d = \frac{c - v \cdot \cos(v_\theta - \phi_i)}{c} f \quad (7)$$

본 논문에서는 위에서 언급한 모델과 파라미터를 사용하여 이동채널모델을 생성하고 이 모델을 기반으로 모의실험을 수행하였다.

#### IV. 채널 추정 알고리즘 및 시공간 수신기

본 절에서는 IF 대역에서 효과적으로 시간 지연을 구할 수 있는 채널 추정 알고리즘 및 시공간 수신기 구조를 제안한다. 시공간 수신기는 크게 고정형 빔형성 구조와 적응형 빔형성 구조로 나뉘며 제안된 두 구조는 개념적으로 동일하지만 빔형성기의 위치에 따라 서로 다른 구조로 나뉘게 된다.

##### 1. 채널 추정 알고리즘

본절에서는 필드동기신호에 삽입된 PN-511를 이용하여, 수신단에서 상관기회로를 통해 PN511의 자기상관함수(Auto Correlation Function, ACF) 최대치를 유도하

고, 이를 이용한 시간지연성분(Delay Profile) 추출을 통한 채널특성을 분석하는 기법을 제시한다. 특히, 본 논문에서는 디지털 방송에서의 수신부 회로에서의 기저대역으로 주파수변환을 위한 반송파 동기를 행하지 않고, 직접 중간주파수단에서 중간 반송파가 포함된 상태에서 SAW(Surface Acoustic Wave)상관기의 원리로 상관처리를 행함으로써, 복잡한 반송파 동기회로를 사용하여 기저대역으로 변환하지 않고, 곧바로 IF대역에서 비동기적으로도 자기상관함수피크를 추출하는 방법을 새롭게 제시한다. 이 방법을 사용하게 되면 복잡한 동기 획득하는 문제를 근본적으로 제거하여 시간 지연 추정을 할 수 있게 된다.

알고리즘의 유효성을 보이기 위하여 8VSB변조되어 RF 반송파가 포함되어있는 DTV 전송신호를, 수신기를 이용하여 실측한 후 이를 이용하였다. 실측데이터는 아날로그의 RF신호를 최소한의 대역을 갖는 IF대역신호로 주파수 변환한 것으로서 심볼비는 10.762 Msps이며, 샘플링주파수는 21.52MHz가 적용되었다. 사용된 실측데이터의 주파수스펙트럼특성은 그림 6에 나타났다. 상관기의 입력되는 실측데이터의 취득구간은 복수개의 필드구간을 포함하고 있다. ACF상관파형을 도출해내기 위하여 실측데이터를 몇 개의 필드영역을 커버하는 구간만큼 획득한 후, IF주파수가 반영된 PN-511로 비동기 상관처리를 행하였다. 이때 PN-511역시 송수신신호의 정합효과를 극대화하기 위해서 그림 7에서 나타낸 바와 같은 주파수특성을 갖도록 힐버트변환(Hilbert Transform)에 의해 VSB필터된 코드로 구현하였다.

그림 6와 그림 7에서 나타낸 바와 같이, 주파수스펙트럼은 상관기에 입력되는 신호파형의 형태와 상관기의 참조신호가 잘 정합 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 8는 정합환경이 고려된 상황 하에서, ACF 파형을 도출한 것을 나타내고 있다. 그림 8에서 나타낸 바와 같이 PN511 확산코드에 의한 ACF의 극점이 명확하게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 지연 파에 의한 ACF 성분들에 의하여 시간 지연성분을 의미하는 ACF 출력 파형들이 일정한 지연 시간 차로 존재하는 것을 확인할 수 있다.

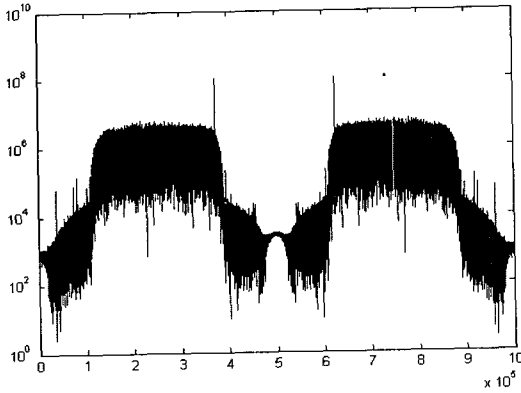


그림 6. 수신 데이터의 파워스펙트럼 특성  
Fig. 6. Power Spectrum of received data signal

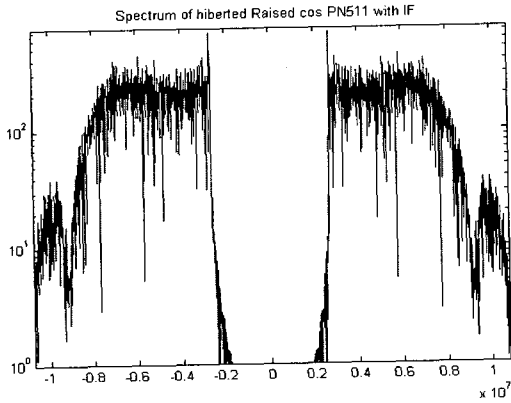


그림 7. VSB 필터링된 기준신호의 파워스펙트럼특성  
Fig. 7. Power Spectrum of VSB filtered Reference signal

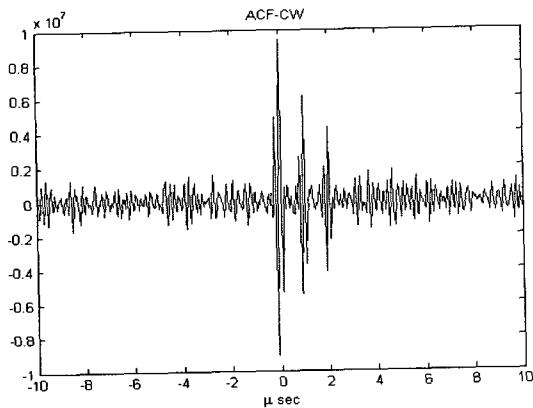


그림 8. 새로운 채널분석기법으로 얻어진 시간지연성분특성  
Fig. 8. Delay Profile Property of Proposed channel analysis method

## 2. IF 대역 신호를 이용한 빔형성기

본 절에서는 중간 주파수 신호를 이용하여 빔형성할 수 있는 빔형성 구조에 대하여 설명한다. IF 신호로 하향변환된 배열 수신 신호를 힐버트 변환하여 복소신호로 전환한 다음 그 신호를 빔형성하는 구조이다. 고정형 빔형성기를 이용한 제안된 구조는 아래의 그림 9와 같다.

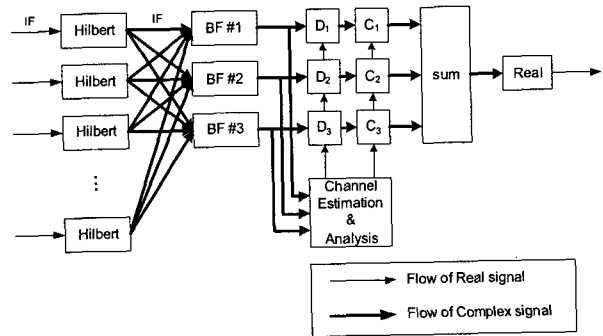


그림 9. IF 기반의 고정형 빔형성기 구조  
Fig. 9. IF based Fixed type-Beamformer Architecture

위 그림 9에서 BF #1 ~ BF #3 은 사전에 고정된 방향으로 빔을 형성하는 빔형성기를 의미한다. 즉, 특정방향(본 논문에서는 0, 30 -30 도)으로 고정된 빔형성 벡터가 적용된 빔형성기를 의미한다.

Hilbert 변환이후의 복소신호는 공간선택도를 가지는 신호가 된다. 따라서, 직접파가 존재한다면 하나의 빔에는 직접파가 성분이 있을 것이므로, 가장 늦게 도달하는 신호에 기준을 두어서 먼저 도착하는 신호들을 지연시키고 채널 영향성분을 곱해서 더하게 되면 다중경로에 의한 채널의 영향을 상쇄할 수 있게 된다. 이렇게 채널의 영향이 보상된 신호를 합한 다음 실수신호로 변환하여 DTV 수신기에 전달하게 된다.

요약하면, 제안된 고정형 빔형성기는 다음의 과정을 거쳐 수신신호를 처리하게 된다.

- 1) IF 대역 신호를 디지털 하향 변환기를 거쳐 복소 디지털 신호로 변환한다.
- 2) 2)의 신호로부터 PN511을 이용한 시공간 채널 추정

을 통하여 시간 지연( $D_1, D_2, \dots, D_M$ ) 및 채널의 크기와 위상( $C_1, C_2, \dots, C_M$ )을 추정한다.

- 추정된 값을 주 경로 상에 적용하여 채널 및 시간 지연을 보상함으로써 최종 빔형성 출력을 생성한다.

다음 그림 10은 본 논문에서 제안하는 적응형 빔형성을 하는 구조이다. 그림 10에 나타난 바와 같이 제안된 구조는 빔형성 가중치가 적응형으로 계산되는 구조이다. 즉, 각 안테나 출력으로부터 PN-511을 이용하여 ACF를 구하고 채널을 추정하고 추정된 채널을 바탕으로 다중신호성분의 특성을 분석하여 빔형성기를 구성하고 처리하는 구조이다.

다중경로 성분은 ACF 최대치에 해당되는 부분의 데이터를 분석하여 추출하게 되며 이 성분들이 빔형성 이후에 채널 보상을 한 이후에 사용되게 된다.

이 적응형 방법은 채널 페이딩 및 지연에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있어 고정형 빔형성기 보다 우수한 성능을 보이지만 배열 안테나의 수만큼 자기 상관기가 필요하다는 단점이 있다.

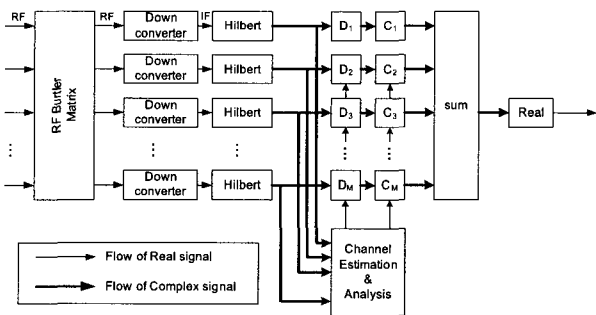


그림 10. IF 기반의 적응형 빔형성기 구조  
Fig. 10. IF based Adaptive Beamformer architecture

요약하면, 제안된 적응형 빔형성기는 다음의 과정을 거쳐 수신신호를 처리하게 된다.

- IF 주파수 신호를 디지털 변환하고 Hilbert 변환한다.
- PN511을 이용한 채널 추정을 통하여 시간 지연( $D_1, D_2, \dots, D_M$ ) 및 채널의 크기와 위상( $C_1, C_2, \dots, C_M$ )을 추정한다.
- 2)에서 추정된 값을 중에서 ACF 값이 큰 소수의 신호

- 를 취하여 이들 각각에 대한 빔형성 가중치를 구한다.
- 4) 각 빔형성기의 출력을 결합함으로써 최종 신호를 출력한다

## V. 성능 분석 결과

### 1. V-GBSBEM 채널 모델링 결과

본 절에서는 V-GBSBEM 모델을 근거로 다양한 채널 시뮬레이션을 수행한 결과를 설명한다. 안테나의 수=8, 안테나의 방향=0도, scatterer 수=10로 고정하고 속도에 따른 페이딩의 변화를 관찰하였다. 사용된 속도는 30km 60km 100km이며 시공간 채널 페이딩을 도출하였다. 또한 각 안테나에서 수신된 신호의 시간에 따른 페이딩 변화도 별도로 표시하였다.

아래 그림들을 비교해 보면 속도에 따른 채널의 페이딩이 매우 커짐을 알 수 있으며 제안된 모델이 속도에 따른 특성을 잘 표현함을 알 수 있다.

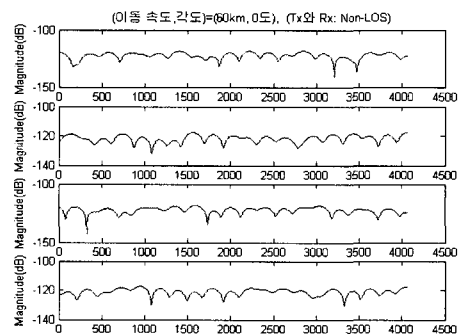
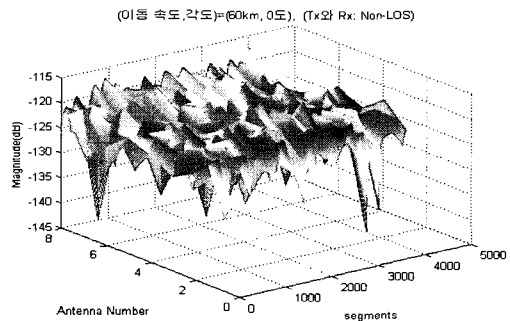


그림 11. 속도가 60 Km 인 경우 시공간 페이딩 특성  
Fig. 11. Time-Space Fading property for 60Km velocity

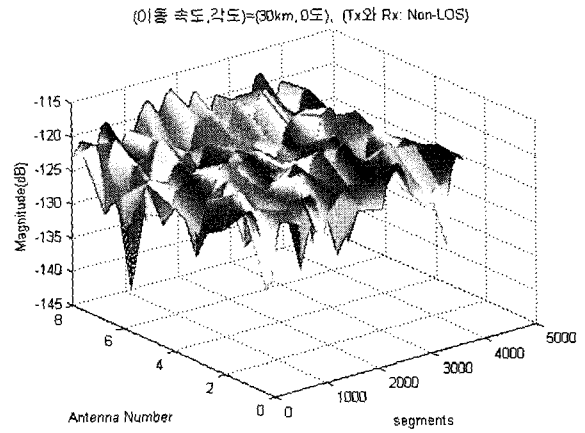
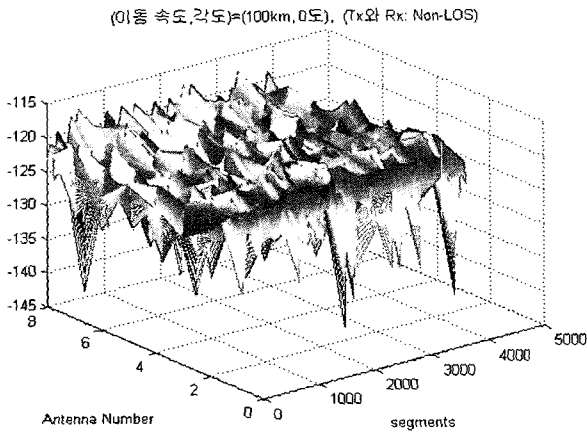


그림 13. 이동각도가 0 도 경우 시공간 페이딩  
Fig. 13. Time-Space Fading property for Mobile angle of 0 degrees

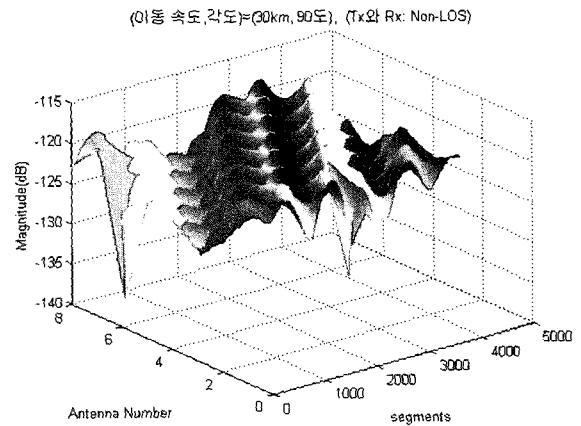
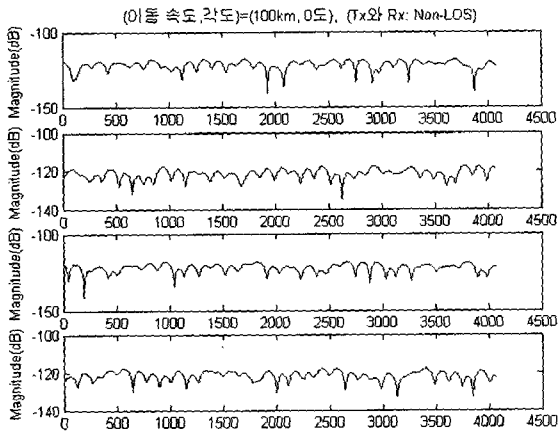


그림 12. 속도가 100 Km 인 경우 시공간 페이딩 특성  
Fig. 12. Time-Space Fading property for 100Km velocity

다음에는 제안된 모델의 이동 방향에 따른 채널의 변화를 고찰하였다. 즉, scatterer의 수와 속도를 고정하고 이동 방향을 변화하며 채널의 페이딩을 관찰하였다. 즉, 배열 안테나의 방향을 0도, 90도 일 경우, 속도가 30 km 일 경우, 60km일 경우 각 안테나에서 수신된 신호의 시간에 따른 페이딩 변화를 아래의 그림과 같이 표시하였다. 실험에서 사용된 scatterer의 위치는 위와 동일하다.

아래 그림들로부터 이동각도에 따른 특성이 제안된 모델이 잘 표현함을 알 수 있다. 즉, 배열의 이동방향이 90 또는 270도인 경우 선형 배열 안테나의 특성상 페이딩이 주기적으로 나타나게 되는데 이러한 특성이 제안된 모델에서 잘 적용됨을 알 수 있다.

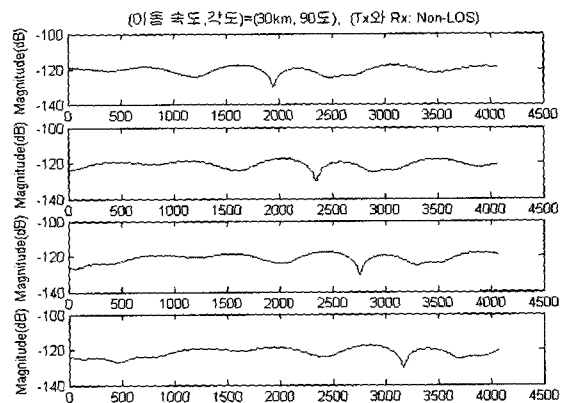


그림 14. 이동각도가 90 도 경우 시공간 페이딩  
Fig. 14. Time-Space Fading property for Mobile angle of 90 degrees



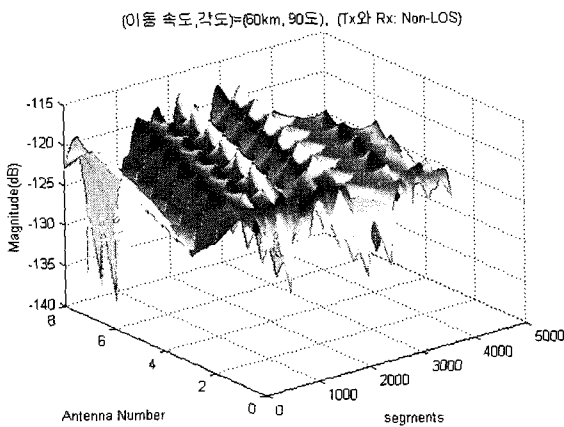


그림 15. 이동각도가 90 도 속도 60Km인 경우 시공간 페이딩  
 Fig. 15. Time-Space Fading property for 60Km velocity & Mobile angle of 0 degrees

2. 빔형성기 실험 결과

본 절에서는 시공간 채널과 구조를 사용하여 다양한 채널을 생성하고 환경에 따른 고정형 및 적응형 빔형성기의 성능을 검증하였다. 빔형형 가중치는 고정형인 경우 0도, 30도, -30로 고정되었으며, 적응형 빔형성기는 자기상관함수의 큰값에 해당되는 배열응답을 빔형성 가중치로 사용하였다. 변조방식은 BPSK로 고정하고, 이동각도를 20도로 고정하여 다음과 같은 파라미터 변화에 따른 성능을 20회 반복 실험하여 제안된 방식의 성능을 평가하였다.

- 안테나의 수: 4, 6, 8
- 빔형성기 출력의 조합 : EGC(Equal Gain Combining), MRC(Maximum Ration Combining)
- 수신기 구조: 고정형 및 적응형 빔형성
- 속도의 변화: 0, 30, 60, 90
- Scatterer의 변화: 3, 6, 9 , 12, 15, 18

속도가 60 Km, 안테나 수가 6인 경우에 각 방식의 성좌도를 아래의 그림과 같이 비교하였다. 그림에서도 알 수 있듯이, 단일 안테나인 경우에는 거의 신호를 복원할 수 없지만 제안된 방식은 신호 복원이 가능하다는 것을 알 수 있다.

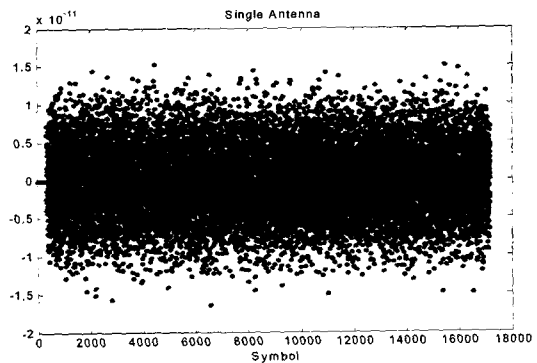


그림 16. 단일 안테나의 Constellation  
 Fig. 16. Constellation of Single Antenna

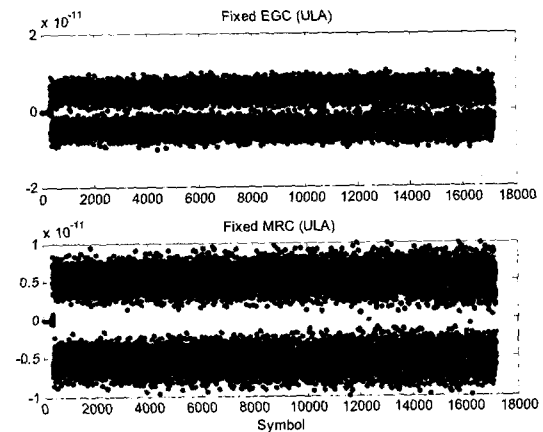


그림 17. ULA 고정형 빔형성기의 Constellation  
 Fig. 17. Constellation of ULA Fixed type-Beamformer

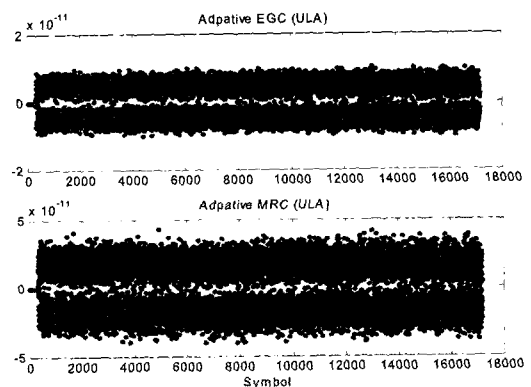


그림 18. ULA 적응형 빔형성기의 Constellation  
 Fig. 18. Constellation of ULA Adaptive Beamformer

본 논문에서는 제안된 알고리즘 및 구조의 성능 실험을 위하여 20회 반복 Monte Carlo 실험을 통해 BER 성능을 평가하였다. 우선, 이동 속도가 60 Km, scatterer의 수가 20으로 고정하고 안테나의 수에 따른 성능 평가를 하였다. 결과 그림 19로부터, 단일 안테나로는 거의 신호를 복원할 수 없음을 알 수 있고, 적응형 빔형성기를 MRC 한 경우가 가장 성능이 좋음을 알 수 있으며, 고정형 빔형성기를 사용한 경우 EGC와 MRC 성능은 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

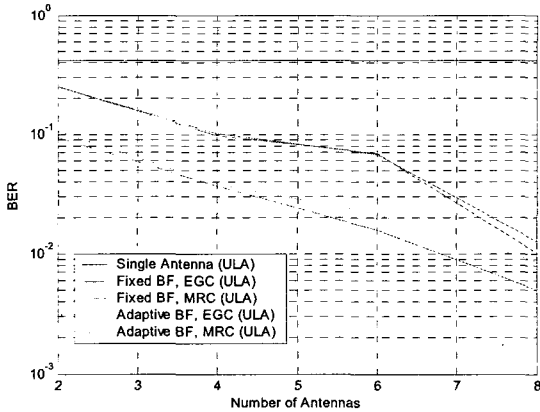


그림 19. BER 특성 (이동 속도 60Km, Scatterer 수 = 20)  
 Fig. 19. BER property (Moblie velocity 60Km, Scatterer number = 20)

다음은, 안테나 수를 4로 이동 속도가 60 Km로 고정하고, scatterer의 수를 변화시켜 실험하였다. 그림으로부터, scatterer수가 적은 경우, 빔형성기의 성능차이가 크지만, scatterer

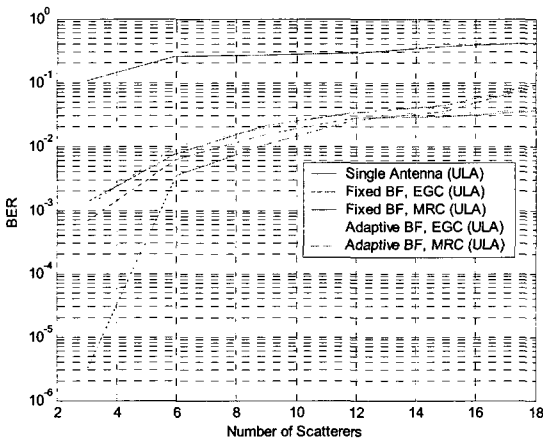


그림 20. BER 특성 (이동 속도 60Km, 안테나 수 = 4)  
 Fig. 20. BER property (Moblie velocity 60Km, Antenna number = 4)

의 수가 많아지면 성능의 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

다음은, 안테나 수를 6으로 하고 그 외 조건은 동일하게 하한 결과로서, 그림에서 보듯이 scatterer의 수에 관계없이 적응형 MRC 방식이 가장 좋은 성능을 나타내지만 고정형 빔형성기의 경우 성능차는 거의 없음을 알 수 있다.

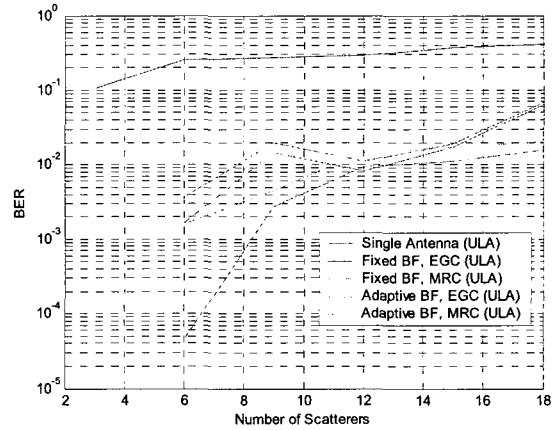


그림 21. BER 특성 (이동 속도 60Km, 안테나 수 = 6)  
 Fig. 21. BER property (Moblie velocity 60Km, Antenna number = 6)

다음은, 안테나 수를 8과 6으로 scatterer 수를 20 고정하고 이동 속도를 가변하여 실험한 결과이다. BER 특성을 비교하면 안테나 수에 따른 성능의 차이는 있지만 속도에 따른 도플러 주파수에 의한 성능의 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

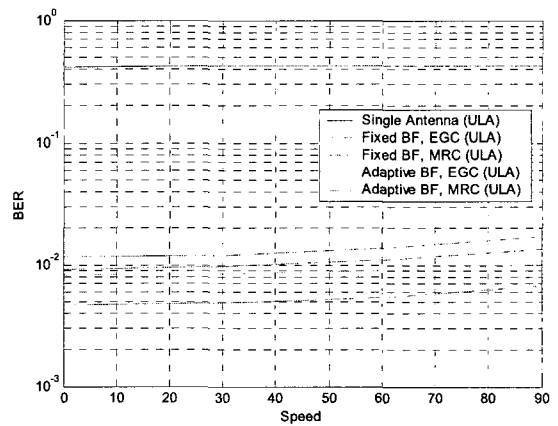


그림 22. BER 특성 (Scatterer 수 =20, 안테나 수 = 8)  
 Fig. 22. BER property (Scatterer number = 20, Antenna number = 4)

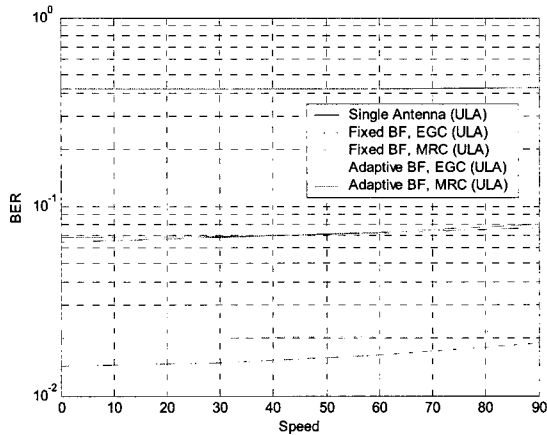


그림 23. BER 특성 (Scatterer 수 =20, 안테나 수 = 6)

Fig. 23. BER property (Scatterer number = 20, Antenna number = 6)

## VI. 결론

본 연구에서는 DTV 수신기의 성능을 개선하기 위한 연구의 일환으로 다중 안테나를 이용한 빔형성 및 다이버시티 기술에 대한 수신 기법을 연구하였다. 우선, 효과적인 시공간 처리 기법을 개발을 위하여 GBSBEM 모델에 기반한 새로운 이동 채널 모델 V-GBSBEM (Velocity-GBSBEM)을 제시하였다. 또한 제안된 모델들을 이용하여 다양한 환경에 따른 시공간 채널 페이딩 특성, 즉, 배열 안테나의 수, 배열 안테나의 방향, 속도, scatterer의 수 등에 따른 시공간 페이딩 특성을 정량적으로 제시하고 분석하였다.

또한, 안테나 다이버시티와 빔형성 결합 기법연구를 위한 새로운 채널 추정 기법을 제시하였다. 즉, 필드 동기에 포함된 PN511를 이용하여 효과적으로 시간 지연을 추정할 수 있는 기법을 제시하였다. 또한 효과적으로 빔형성기를

구현할 수 있는 구조, 즉 IF 단에서 기저대역으로 신호를 내리지 않고 바로 빔형성을 할 수 있는 구조를 제안하였다. 제안된 IF 기반의 고정형 빔형성과 적응형빔형성기의 성능은 다양한 실험을 통하여 검증하였다. 다양한 실험 결과로 적응형 MRC결합기법이 가장 우수한 성능을 보였으며 적은 계산량을 필요로 하는 고정형 EGC결합기법도 성능은 뛰어난을 검증했다.

제안된 채널 추정 및 빔형성기 구조는 상용 수신기의 수정 없이 앞단에 부착할 수 있는 알고리즘 및 구조 이므로 DTV 이동 수신을 가능하게 하는 기술로 활용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Lijun Zhang; Gui, L.; Yantao Qiao; Wenjun Zhang; "Obtaining diversity gain for DTV by using MIMO structure in SFN", IEEE Trans.on Broadcasting,50,No. 1,2004, Pp 83 - 90
- [2] Meehan, J. "Antenna diversity for improved indoor reception of US digital terrestrial television receivers", IEEE Trans. on Consumer Electronics,48,No. 4,2002, Pp 850 - 853
- [3] Evans Wetmore, R.; Radford, M.; Schnelle, D.; Meehan, J.; Kennedy, R.A.; Miniutti, D. "Joint VSB terrestrial digital TV indoor reception project", IEEE Trans. on Broadcasting, 48, No.4, 2002, Pp 261 273
- [4] Bendov, O."Smart, active, and concealable antenna array for portable television reception", IEEE Trans. on Broadcasting, 50 ,No 1 ,2004, Pp:71 75
- [5] Joseph C. Liberti, Jr, Theodore S. Rappaport, "Smart Antennas For WireULAs Communications:", Prentice Hall, 1999
- [6] S. Bensley and Behnaam Aazhang, "Subspace-Based Channel Estimation for Code Division Multiple Access Communication Systems", IEEE Tras. Comm., Vol. 44, pp 1009-1020, Aug. 1996.
- [7] 이종현, "비동기 CDMA 시스템 기반의 배열 안테나용 온라인 보정 알고리즘", 한국통신학회 제 29권 1호, 18-30

---

 저 자 소 개
 

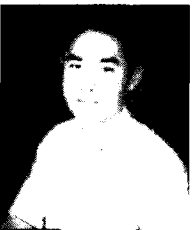
---

**이 종 현**

- 1985년 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 : Michigan Technological University (공학석사)
- 1989년 : University of Wisconsin-Madison (박사과정)
- 1990년 ~ 1995년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1995년 ~ 2002년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1999년 3월~ 1999년 9월 : Stanford University (교환연구원)
- 2000년 ~ 2002년 : (주) KM Telecomm. (연구소장)
- 2003년 3월 ~ 2006년 1월 : 서경대학교 전자공학과 전임강사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 해양과학대학 해양과학부 조교수
- 주관심분야 : 통계학적 신호처리, 적응 배열 안테나 시스템, 이동통신 시스템, 디지털 TV, UWB 무선전송기술

**김 광 호**

- 1980년 : 서강대학교 신문방송학과 (학사)
- 1988년 : 독일 괴팅겐대학교 대학원 (사회과학석사)
- 1993년 : 독일 괴팅겐대학교 대학원 (사회과학박사)
- 1993년 ~ 1995년 : 한국방송개발원연구원
- 1995년 3월 ~ 현재 : 서울산업대학교 매체공학과 부교수
- 1999년 : 호주시드니공대 방문교수
- 2001년 : 독일함부르크대학 방문교수
- 2003년 ~ 현재 : 현재 서울산업대학교 IT정책전문대학원 방송통신정책학과 부교수
- 2004년 6월 ~ 2005년 6월 : 미국 샌디에고 캘리포니아 주립대 교환교수
- 주관심분야 : 언론학, 영상커뮤니케이션, 뉴미디어 영상 제작

**차 재 상**

- 1991년 : 성균관대학교 전기공학과 (공학사)
- 1991년 ~ 1993년 : 육군 교관 (ROTC)
- 1997년 : 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2000년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 10월 ~ 2002년 9월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송기술연구소 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 2005년 8월 : 서경대학교 정보통신공학과 전임강사
- 2005년 10월 ~ 현재 : 서울산업대학교 매체공학과 조교수
- 주관심분야 : 디지털 TV, 디지털 방송전송 기술, UWB 무선전송기술, 대역확산 및 다중접속 기술, 4세대 이동통신 기술