

# 빔형성 기법을 이용한 이동수신 환경에서의 DTV 수신성능개선

이경원, 오영호, 김대진  
전남대학교 전자정보통신공학과  
E-mail : littleto@moiza.chonnam.ac.kr

## DTV mobile reception performance enhancements by using beam forming techniques

Kyoung Won Lee, Young Ho Oh and Dae Jin Kim  
Dept. Electronics Engineering, Chonnam National University

### 요약

본 논문은 ATSC방식의 지상파 DTV의 이동수신 성능 개선을 위해 적응 어레이 안테나를 사용하여 입사되는 신호의 위상 정보를 통해 원하는 신호원의 방향을 찾고 주신호와 다중경로 신호 사이에 capon알고리즘을 통해 최대의 이득을 얻는 최적의 빔을 형성하며 이동수신채널인 도플러 효과가 포함된 다중경로신호들의 영향을 약화시킨다. 빔형성 알고리즘을 통한 채널의 개선이 LMS 알고리즘을 사용한 등화기의 성능을 얼마나 향상시키는지 전산 모의 실험을 통해 확인하였다.

### I. 서론

지상파 디지털 방송 전송 시스템에 대한 초기의 요구사항은 첫째, 정의된 서비스 영역에서 NTSC보다 우수한 커버리지를 가지는 것과 둘째 13.39 Mbps의 HDTV전송이었다. 그러나 싱글레어 브로드캐스트 그룹이 1999년 6월과 8월 사이에 미국의 볼티모어에서 실시한 필드테스트를 근거로 도심지역과 옥내수신에 있어서 8-VSB방식에 문제점이 있다는 것을 거론한 이래로 새롭게 DTV 전송 시스템에 대한 요구사항을 정리하였다. 그중에 하나가 고정·휴대·보행자(5Km/h 이하)·이동(5Km/h이상)수신이 가능한것이다. 각국의 지상파 DTV 필드테스트 결과를 살펴보면 왜곡이 심한 다중경로 환경인 휴대 및 보행자 수신환경과 채널의 변화가 심한 이동 수신 환경에서 취약한 면을 보였다. 이를 개선하기 위해 등화기의 성능개선과 다중경로 신호의 영향 약화가 이동수신환경에서의 수신성능 개선에 무엇보다도 중요한 영향을 끼친다. 빔형성 기법을 이용함으로써 전송 효율의 극대화, 수신 오류의 최소화, 다중 경로로 인한 간섭제거를 목적으로 하고 있다. 즉, 다수의 안테나 소자를 사용하여 시간영역의 신호처리와 공간영역의 신호처리를 통해 원하는 입

사방향(DOA, direction of arrival)으로 안테나 빔을 형성하고, 원하지 않는 다중경로 신호에 대해서는 안테나 이득을 감소시켜서 다중경로 신호의 영향을 줄였다. 이 후에 LMS 알고리즘을 이용한 결정 궤환 등화기를 구조 변화 없이 그대로 적용시켜 빔형성기술을 사용하지 않고 SER(Symbol to Error Ratio) 0.2이하를 만족하는 CNR(Carrier to Noise Ratio)과 빔형성기술을 사용하여 다중경로 신호를 줄인후 만족하는 CNR을 비교 실험하였다.

### II. 입사각 추정 기반 빔형성 알고리즘

적응 어레이는 안테나 소자사이의 위상차를 이용하여 공간적인 신호처리를 수행한다. 서로 D만큼 떨어진 안테나 소자에서 수신되는 신호의 위상이 입사신호의 방향  $\theta$ 에 의해서 결정되기 때문에 (1) 식을 만족한다.

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} D \cos \theta \quad (1)$$

그림.1은 어레이 입사신호간의 위상차이를 나타낸다.

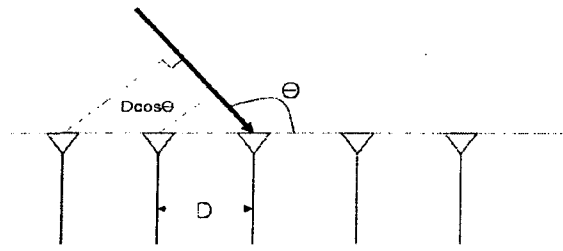


그림 1. 어레이 입사신호간의 위상차이

이처럼 다수의 어레이 안테나 소자를 이용한 공간적 필터링을 통한 채널의 개선을 수행하는 빔형성 알고리즘에는 수신데이터를 기반으로 하는 알고리즘과 입사각을 추정하는 알고리즘이 있다. 수신데이터를 기반으로 하는 경우는 세그먼트 싱크(segment sync)나 필드 싱크(field sync)신호와 같은 훈련열데이터를 사용하는 경우를 말한다. 종류에는 LMS알고리즘이 있는데 훈련열과 같은 기준신호와 어레이 출력값과의 평균자승오차를 최소화시키는 적응 알고리즘이다. RLS 알고리즘은 상·하행렬의 초기값과 들어오는 입사신호의 정보를 통해 입사신호의 자기상관행렬을 추정한다.<sup>[1]</sup>

입사각 추정을 기반으로 하는 알고리즘은 어레이 수신데이터를 이용하여 신호의 입사각을 추정하고 입사방향으로 빔 패턴을 지향한다. 일반적으로 훈련열을 필요로 하지 않는 장점이 있지만 안테나 소자의 수에 따라 입사각 추정 분해능이 좌우되는 단점도 안고 있다. 입사각 추정 알고리즘의 종류에는 지연합 방법이 있는데 가장 단순한 입사각 추정기법으로서 구현이 아주 간단한 장점이 있다. 각 방향에 대해서 안테나 빔을 지향하고 전력을 측정 후 가장 큰 출력을 나타내는 방향을 신호의 입사각으로 추정한다. 그러나 두개의 신호가 인접한 방향에서 입사될 경우 두 신호의 입사각을 정확하게 추정하지 못하는 단점을 가지고 있다. MUSIC방법은 고유치 분해를 통한 부공간을 이용하는 방법이다. 부공간을 이용하는 경우는 인접한 방향으로 입사되는 신호를 분리할 수 있는 우수한 분해능을 가지므로 가장 많이 사용되는 입사각 추정방식이다.<sup>[4]</sup> 하지만 안테나 소자의 수가 입사되는 신호의 수보다 많을 때만 좋은 성능을 발휘하고 입사되는 신호의 수가 안테나 소자의 수보다 많을 경우 입사각 추정이 불가능하다. 이와 같은 단점이 DTV 이동수신을 위한 알고리즘으로는 적합하지 않다. 마지막으로 Capon방법이 있다. 지연합 방법의 단점인 좋지 않은 분해능을 극복하기 위한 방법인데, 지향방향에 대해서 일정한 이득을 유지하는 제한 조건을 만족시키면서 출력을 최소화 하는 방향 스펙트럼을 얻을 수 있다. 이 원리를 수식으로 표현하면 (2)식과 같다.

$$\min_w W^H R W \text{ subject to } W^H a(\theta) = 1 \quad (2)$$

여기서 최적가중치 벡터를 (3)식과 같이 얻을 수 있고,

$$W_{CAP} = \frac{R^{-1}a(\theta)}{a^H(\theta)R^{-1}a(\theta)} \quad (3)$$

방향 스펙트럼을 분석하여 방향 스펙트럼 상에 존재하는 몇 개의 최고치를 파악하고 입사신호의 수를 판단한다. (4)식은 방향 스펙트럼을 나타낸다.<sup>[2]</sup>

$$V_{CAP} = \frac{1}{a^H(\theta)R^{-1}a(\theta)} \quad (4)$$

방향 스펙트럼을 분석하여 주신호와 다중경로 신호를 분리해 낼 수 있다. 그림.2가 입사각 추정의 블록도이다.

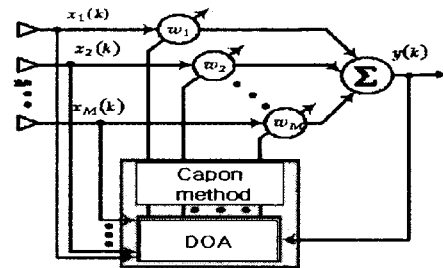


그림 2. 입사각 추정 블록도

### III. 빔형성기와 등화기의 연동구조

빔형성 기법을 사용함으로써 채널의 지연 특성을 크게 개선할 수는 있지만 완전히 모든 다중 경로 신호를 제거하지는 못한다. 그리고 LMS 알고리즘을 이용한 결정제한 등화기는 다중 경로가 존재하는 휴대 및 보행, 이동수신에 있어서 등화기 수렴 속도가 느리기 때문에 현재 8-VSB전송시스템이 안고 있는 문제점을 해결하지 못했다. 하지만 빔형성 알고리즘과 LMS 알고리즘을 이용한 결정제한 등화기와의 연동을 통해 기존에 같은 신호 대 잡음비에서 수렴하지 못했던 신호를 수렴시킬 수 있었다.

위의 제안을 만족시키기 위한 모의 실험 조건으로 안테나 소자 4개를 사용하고, 각각의 거리는 파장의 1/2간격으로 하였고, 소자의 배열로는 일반적으로 가장 많이 사용되는 선형 배열방식을 채택하였다. 등화기는 LMS 결정 제한구조 등화기를 사용하였다. 등화기의 스텝사이즈는  $5 \times 10^{-6}$ 이며 200개의 피드 포워드 탭과 100개의 피드 백 탭을 사용하였다. 채널의 경우는 도플러 효과가 삽입된 브라질A, 브라질B 그리고 5μs 지연된 -2dB 싱글에코에 도플러효과 100Hz가 포함된 채널을 사용하였다. 표.1 은 브라질 A채널, 표.2는 브라질 B 채널환경을 보여준다. 비교성능평가를 위해서 심볼에러율(SER, Symbol to Error Ratio)이 0.2이하를 만족하는 CNR(Carrier to Noise Ratio)을 찾았다.

| Ensemble |                           | Path 1 | Path 2 | Path 3 | Path 4 | Path 5 | Path 6 |
|----------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A        | Delay ( $\mu\text{sec}$ ) | 0      | 0.15   | 222    | 305    | 5.86   | 593    |
|          | Amplitude (dB)            | 0      | -13.8  | -16.2  | -14.9  | -13.6  | -16.4  |
|          | DOA (degrees)             | 60     | 13     | 17     | 40     | 80     | 90     |
|          | Doppler (Hz)              | -      | -      | 60     | 30     | -      | -      |

표 1. 브라질 A 채널환경

| Ensemble |                           | Path 1 | Path 2 | Path 3 | Path 4 | Path 5 | Path 6 |
|----------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B        | Delay ( $\mu\text{sec}$ ) | 0      | 0.3    | 3.5    | 4.4    | 9.5    | 127    |
|          | Amplitude (dB)            | 0      | -12    | -4     | -7     | -15    | -22    |
|          | DOA (degrees)             | 60     | 13     | 17     | 40     | 80     | 90     |
|          | Doppler (Hz)              | -      | -      | 60     | -      | 30     | -      |

표 2. 브라질 B 채널환경

#### IV. 전산 모의 실험

이 장에서는 앞장에서 설명한 기술에 대해 전산 모의 실험을 실시 하여 결과를 도출하고 있다. 먼저 표.1을 보면 브라질 A 채널의 환경을 알 수 있다. 주신호 입사각은  $60^\circ$  이고, 입사각이 가까운  $13^\circ$  와  $17^\circ$  다중경로 신호가 들어오고 주신호에  $20^\circ$  간격인  $40^\circ$  와  $80^\circ$  에서도 다중경로 신호가 존재한다.  $90^\circ$  에서도 가장 작은 다중경로 신호가 입사되고 있다. 그림.3은 브라질 A 채널 환경에서 기존의 빔 형성 기법을 사용하지 않고 LMS 결정채환등화기만으로 SER 0.2를 만족하는 CNR과 빔 형성 기법을 사용하고 동일한 등화기를 사용하였을 때 도플러 효과의 삽입 유무에 따른 SER 0.2를 만족하는 CNR을 도출한 것이다. 빔 형성기법을 사용하지 않은 경우는 CNR 16dB에서 수렴하는 것을 알 수 있다. 빔 형성 기법을 사용한 경우는 입사각 추정이 제대로 이루어져 SER 0.2를 만족하는 경우가 도플러 효과가 존재하는 채널과 도플러 효과가 없는 채널 모두 CNR 12.5dB에서 동작하는 것을 알 수 있다. 빔 형성 기법의 사용으로 약 3.5dB의 성능 향상을 보였다. 도플러 효과를 삽입여부에 따른 차이가 크지 이유가 빔형성으로 도플러 효과가 있는 신호의 크기를 많이 제거하였고, 특히 브라질 A 채널의 다중 경로 신호가 주신호에 비해 현저히 작기 때문에 성능차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

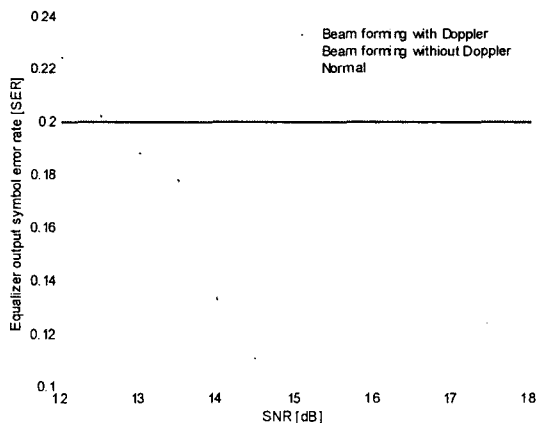


그림 3. 브라질A 채널에서 SER 0.2를 만족하는 CNR

브라질 B 채널의 경우 주신호의 입사각은  $60^\circ$  이고 다중경로 신호의 입사각은 브라질 A 채널과 같이  $13^\circ, 17^\circ, 40^\circ, 80^\circ, 90^\circ$  이다. 이중에서 다중경로 신호 중  $17^\circ$  에서 입사하는  $-4\text{dB}$  신호는 60Hz 도플러 효과를 주었고, 다중경로 신호 중  $80^\circ$  에서 입사되어지는  $-15\text{dB}$  신호는 30Hz 도플러 효과를 삽입하였다.

브라질B 채널의 전산 모의 실험은 빔형성 기법을 사용하지 않았을 때와 사용했을때의 SER 0.2를 만족하는 CNR이 약 6.5dB 차이가 나는 것을 그림.4를 통해 알 수 있다. 빔형성 기법을 사용하지 않았을 때 SER 0.2이하를 만족하는 CNR은 20.5dB이고 빔형성 기법을 사용하였을 때는 도플러효과가 존재하는 경우 14.5dB, 도플러효과가 없을 경우 13.9dB 정도에서 SER 0.2이하를 만족한다. 브라질 B채널의  $-4\text{dB}$  크기의 다중경로 신호에 도플러 효과가 삽입되어 작은 다중경로 신호에 도플러 효과가 삽입된 브라질 A 채널보다 SER성능에 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다.

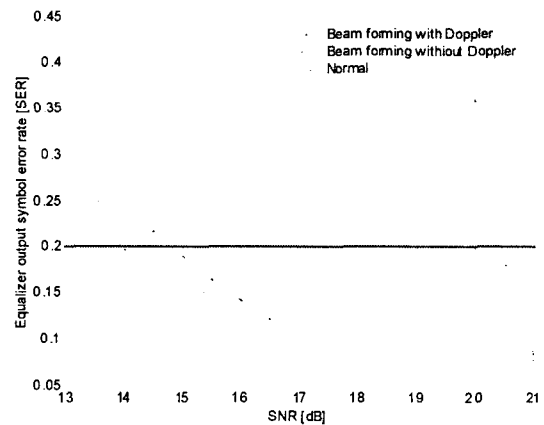


그림 4. 브라질B 채널에서 SER 0.2를 만족하는 CNR

다음은  $5\mu\text{s}$   $-2\text{dB}$  크기의 싱글에코에 도플러 100Hz가 있는 채널을 가지고 전산 모의실험을 실시 했다. 주신호의 입사각은  $70^\circ$  로 설정했고 싱글에코의 입사각은  $40^\circ$  였을때 빔형성 기술을 사용하지 않은경우 SER 0.2를 만족시키는 CNR은 18.5dB였다. 하지만 빔형성을 이용한 경우 Capon 방식이 입사각  $70^\circ$  로 인식하고 빔을 형성하여 SER 0.2dB를 만족하는 CNR은 13dB에서도 동작함을 그림.5를 통해 볼 수 있다.

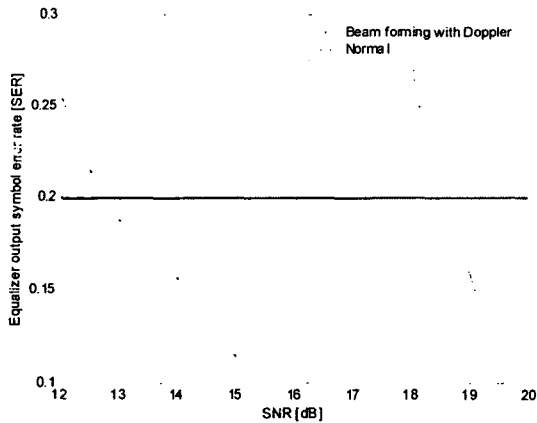


그림 5. 5 $\mu$ s, -2dB싱글에코 도플러 100Hz 채널에서 SER 0.2를 만족하는 CNR

빔 형성 기술이 입사각 70° 에 최적의 빔을 형성 함으로서 40° 에 존재하는 다중경로 신호가 크게 작아져 다중경로 신호가 없는 경우와 흡사한 성능을 보인다. 이는 안테나 4개에서 주신호를 4번 더하는 효과를 얻기 때문에 성능이 크게 개선됨을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 입사각 추정을 통해서 주경로 신호의 입사각으로 안테나 빔을 형성하고 다중경로 신호는 약화시켜서 잔존하는 다중경로 신호는 LMS 결정 궤환 등화기를 이용해서 제거하는 구조를 제안하였다. 모의 실험 결과 최소 3dB 이상 성능향상이 있는 것을 확인할 수 있었다. 아직 실험중인 브라질 C, D, E와 같은 다중경로 신호가 큰 경우는 다중경로 신호들의 입사각이 근접할수록 입사각 추정에 오류가 발생할 확률이 더 높았다. 그로인해 주 경로 신호의 입사각을 잘못 추정하게 되어 채널을 보상 할 수도 없게 된다. 이런 경우는 채널추정을 통해 빔 선택을 한뒤 성능이 좋지 않을 시에는 다음 스펙트럼이 큰 입사방향으로 스위칭 하는 알고리즘이 필요하다. DTV 수신기 설계시 부피의 제약 때문에 항상 충분한 안테나 소자를 사용할 수 없기 때문에 자유도 부족으로 정확한 입사각을 찾는 데 무리가 따를 수 있다.<sup>[3]</sup>

## VI. 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 산업기초 기술개발 사업 연구 지원으로 수행되었으므로 이에 고마움을 표시합니다.

## 참고문헌

- [1] ATSC, "Guide to the use of the ATSC digital television standard," , ATSC Doc. A/53, 1995.
- [2] J.C.Liberi and T.S.Rappaport, "Smart antennas for wireless communications : IS-95 and third generation CDMA application," Prentice

Hill.1999.

- [3] Dong-Seog Han, Sung-Hon Moon, "DOA estimation based beamforming technique for DTV reception performance enhancement."Journal of Broadcasting engineering, Vol.8, No.2, June 2003.
- [4] Pieter Van Rooyen and Michiel Lotter, "Space-Time Processing For CDMA Mobile Communication," Kluwer Academic Publishers.1999.