

DBF 수신기를 이용한 DOA 측정시스템의 평가

민경식, 박철근^o, 고지원
한국해양대학교 전파공학과
ksmin@hanara.kmaritime.ac.kr

Estimation of DOA Measurement System using DBF Receiver

Kyeong-Sik Min, Chul-Keun Park, Jee-Won Ko
Department of Radio Sciences & Engineering,
College of Sciences and Engineering, Korea Maritime University

Abstract

This paper describes an estimation of DOA(Direction Of Arrival) measurement system using DBF receiver with linear array antenna. This DBF receiver is composed of resistive FET mixer using low IF method. A radio frequency(RF), a local oscillator(LO) and an intermediate frequency(IF) considered in this research are 2.09 GHz, 2.08 GHz and 10 MHz, respectively. This receiver is composed of a band-pass filter, a low-pass filter, a DC bias circuit. DOA measurement system is consist of linear array antenna, DBF receiver, AD control box and computer in the anechoic chamber. Receiving antenna is 4-array monopole antenna and DBF receiver is 4-Ch resistive FET mixer without amplifier. DOA algorithm is implemented using MUSIC algorithm with high resolution. We show that the results of DOA is -30° , 0° and 60° , respectively. And we know that DOA estimation error occur by antenna radiation pattern and fabrication error of antenna array.

Key words : DOA, DBF, MUSIC, low IF

I. 서론

최근 무선통신 기술은 급속히 성장하고 있으며, 특히 휴대전화로 대표되는 이동통신 분야는 획기적인 발전을 거듭하고 있다. 휴대전화의 경우만 보더라도 사용자의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있으며, 더욱이 차세대 무선통신 서비스에는 초고속 데이터 통신을 위해 높은 주파수 대역, 더 많은 채널 용량, 더 넓은 대역폭이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여, 기지국은 신호 환경에

대해 안테나 방사패턴의 방향성을 실시간·적응적으로 제어할 수 있는 능동적 시스템이 필수적이다. 이러한 이유로 DBF(Digital Beam Forming) 안테나 시스템이 주목받고 있으며, 수많은 연구가 진행 중이다. 인공지능 안테나를 의미하는 스마트 안테나, 소프트웨어 무선안테나, 어댑티브 어레이 안테나와 같은 것들이 이에 속하며, 이들은 디지털 신호처리부와 결합된 형태이다[1].

DBF 어레이 안테나 시스템이란 배열된 안테나의 위상을 알고리즘적으로 제어하여 특정 신호(원하는 방향의 신호)를 선택적으로 송수신하고 간섭 신호의 영향을 최소화시킴으로써 가입자 상호간의 간섭

을 대폭 감쇠시킨 것이다. 즉 셀 내의 각 단말기에 독립된 빔을 송수신간에 제공하고 원하는 단말기 방향으로 이들을 극대화되도록 빔형성 시킴으로서 여타의 단말기 방향에 전파량을 극소화할 수 있다. 그러므로 수신 신호의 잡음을 대폭 감쇠시킨다. DBF 안테나 시스템은 통화 채널간 방해 전파를 최소화하여 통화 품질을 향상시키고 가입자 수를 증가시킬 수 있는 시스템이며 원하는 방향으로 전파가 집중되어 각 단말기는 저전력으로 통화가 가능하므로 배터리 수명을 획기적으로 연장할 수 있는 기술이다. 결국 이 시스템은 각 단말기 방향으로 독립된 빔패턴을 제공하여 통신 용량을 증대시키고 통신 품질을 대폭 개선할 수 있는 지능형 기지국을 실현하는 기술이다. 따라서 본 논문에서는 제작된 Low IF 방식의 저항성 FET 믹서를 이용하여 도래 방향추정 실험을 하였으며, 그 결과를 제시하고 검토하였다.

II. 도래방향추정 측정시스템 구성

II-1. 4채널 저항성 FET 믹서

그림 1과 2는 각각 4채널 FET 믹서의 블록도와 실제 제작된 사진을 나타낸다. RF 입력신호, LO 입력신호, IF 출력신호는 각각 2.09 GHz, 2.08 GHz, 10 MHz로 하여 설계하였다. 안테나에 의해 수신된 2.09 GHz의 신호는 RF 입력단으로 입력되고, 2.08 GHz의 LO 신호는 5포트 전력분배기에 의해 분배되어 LO 입력단으로 입력된다[2].

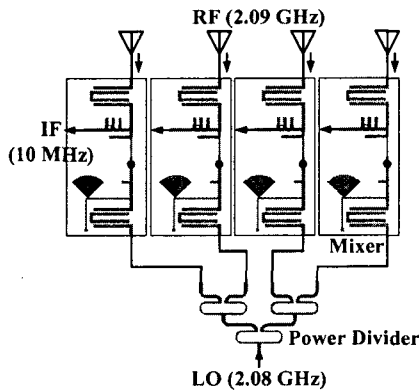


Fig. 1. Structure of 4-Ch FET mixer.

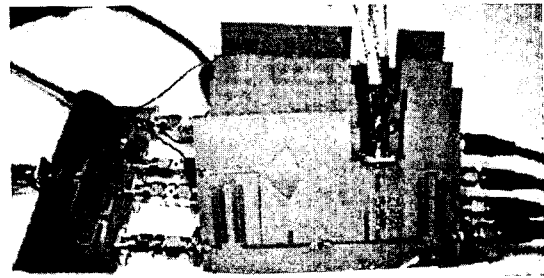


Fig. 2. Photograph of fabricated FET mixer.

각각의 FET 믹서의 특성은 참고문헌[2]에 상세히 서술되어 있으며, 4채널 모두 양호한 특성을 보였다.

II-2. 전파암실에서의 측정환경 구축

제작된 FET 믹서를 이용하여 전파암실에서 도래 방향추정을 위한 측정환경을 구축하였다. 표 1은 구축된 측정환경을 간략히 나타낸 것이다.

Table 1. Specification of measurement environment.

| | Specification |
|------------|------------------------------------------------------|
| 주파수[GHz] | RF : 2.09 LO : 2.08 IF : 0.01 |
| 레벨[dBm] | RF Tx : -40m LO : 6 dBm IF : -60 dBm ~ -65 dBm |
| 전원[V] | -0.4 V |
| 송신안테나 | 광대역 표준 혼 안테나 1 GHz ~ 18 GHz |
| 수신안테나 | 2.09 GHz 모노폴 4-Ch array |
| 송수신간 거리 | 3 m |
| A/D 컨버터 | 12 bit, 40 MHz/s |

그림 3은 어레이 안테나의 배치를 나타낸다. 수신 어레이 안테나는 고정되어 있고, 송신안테나를 이동시켜 도래방향을 변화시킨다. 송수신안테나가 정면으로 바라보는 지점을 기준으로 그림에서와 같이 x-y 좌표를 정한다. 송수신 안테나는 x축을 기준으로 3m의 위치에 배치되었다. 3m는 2.09 GHz에 있어서 20.9 λ 정도이므로 far-field를 충분히 만족한다. 식

(1)은 안테나 far-field를 구하는 식이다.

$$R \geq \frac{2 \times D^2}{\lambda} \quad (1)$$

여기서, R은 송수신안테나간 far-field를 만족하는 거리이고, D는 수신안테나의 표면적이다.

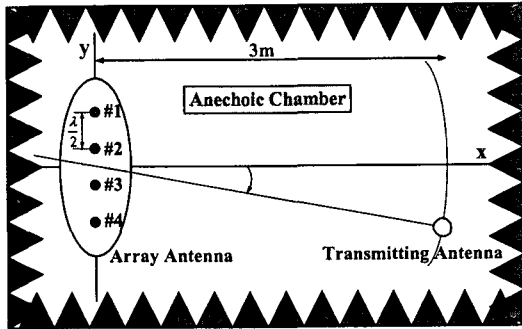


Fig. 3. Arrangement of the antenna in anechoic chamber

그림 4는 실제 측정에 사용된 수신 어레이 안테나의 사진을 나타낸다. 송신안테나는 표 1에 나타낸바와 같이 1 GHz~ 18 GHz 까지 사용할 수 있는 광대역 혼 안테나이며, 신호발생기를 이용하여 2.09 GHz 신호만 계속적으로 송신하도록 설정하였다. 수신안테나는 4개의 모노폴 안테나를 어레이 시킨 것으로 반파장 간격으로 배치하였으며, 안테나에 수신된 RF 신호는 FET 믹서로 입력이 된다. FET 믹서에 의해 10 MHz의 IF 주파수가 출력되고 이 신호는 AD control box로 입력되어 신호처리가 이루어진다.

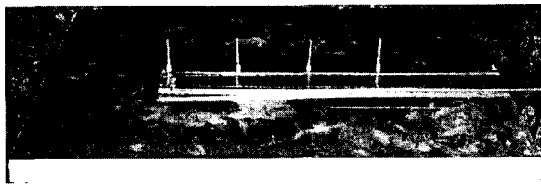


Fig. 4. Fabricated 4-Ch array antenna.

표 2는 DBF 어레이 안테나에서 디지털 시스템의 세부 사항을 도시하였다. ADC(Analog to Digital Converter)는 12비트 분해능을 가지고 샘플링 레이트는 40 MHz이다. 이 시스템은 12비트 직렬 DAC

(Digital to Analog Converter)에 의해 동작기준 전압이 제어되고, 효율적인 ADC 동작을 위해 입력 전압은 0 ~ 4.095 V 범위로 제어되도록 한다[3][4]. 16 채널 구성은 표 1에 나타내었고, 5개의 FPGA의 전체 게이트 수는 3,000,000 게이트가 된다.

Table. 2 Detail specifications of AD control box.

| | | |
|----------|----------------|------------------------|
| ADC | Channel | 16 |
| | Resolution | 12 bits |
| | Sampling Rates | Up to 40 MHz |
| DAC | Vhref, Vlref | Input : 12 bits Serial |
| | Control | Output : 0 ~ 4.095 V |
| FPGA | I/O Mother(1) | APEX20KC600 |
| | ADboard(2) | (About 600K Gates) |
| | ADboard(2) | × 5 = 3 M Gates |
| CPU | HITACHI SH4 | - |
| | OS | NetBSD |
| User I/F | Ethernet | 10BaseT |

그림 5는 제작된 DBF 어레이 안테나 시스템 중에서 AD control box의 사진을 나타낸다. 2 개의 ADC 보드와 한 개의 I/O 보드, CPU 보드로 구성되어있다. FET 믹서에 의해 10 MHz 신호로 다운 컨버전된 IF 신호가 이 AD control box의 입력이 된다. 각각의 보드에는 FPGA가 내장되어 있으며, 이 FPGA에 도래방향추정 알고리즘으로 고분해능을 가지는 MUSIC(Multiple Signal Classification)이 코딩되어 있다. 이 control box에서 처리되는 신호처리 결과는 이더넷으로 연결되어 일반 PC에서 모니터링 및 제어할 수 있다.

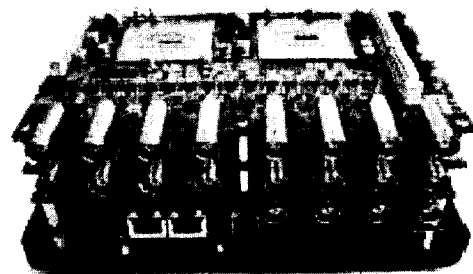


Fig. 5. Appearance of evaluation system.

처리된 결과를 보다 편리하게 확인하고 제어하기 위해 GUI(Graphic User Interface) 소프트웨어를 구현하였다. 그림 6은 도래방향추정 실험에 사용될 수신 시스템의 블록도를 나타낸다. 안테나로 수신된 도래파는 저항성 FET믹서에 의해 10 MHz의 IF 신호로 다운컨버전되고 AD control box에서 신호처리되어 도래방향을 추정하게 된다.

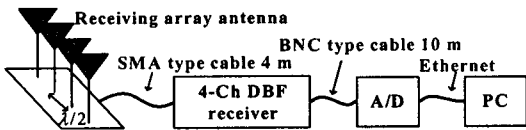
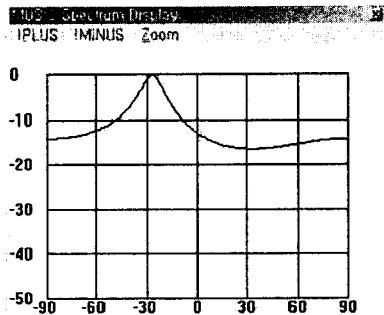


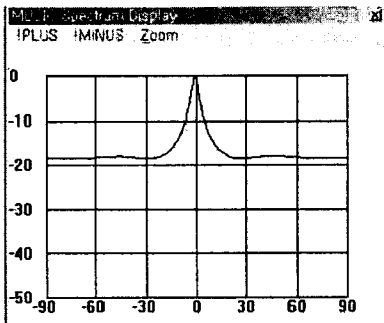
Fig. 6. Block diagram of receiving system

II-3. 도래방향추정 결과 및 검토

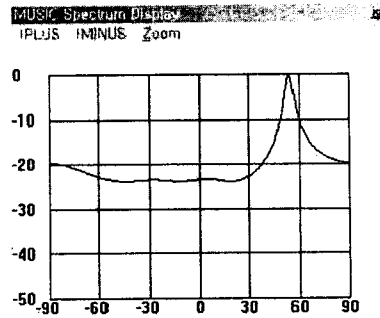
앞선 언급한 시스템을 이용하여 구축된 측정환경으로 DBF 수신기를 이용한 도래방향추정 실험을 하였다. 그림 7 (a)는 도래방향이 -30°일 때, (b)는 0°일 때, (c)는 60°일 때의 결과를 각각 나타낸다.



(a) DOA is -30°



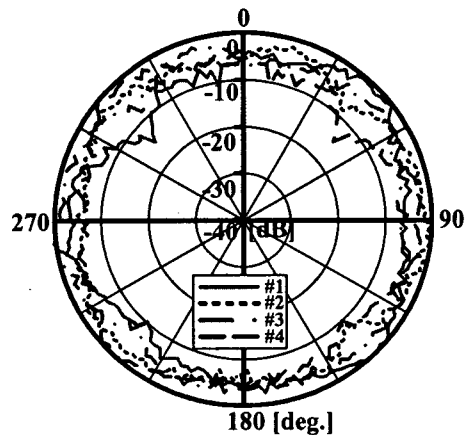
(b) DOA is 0°



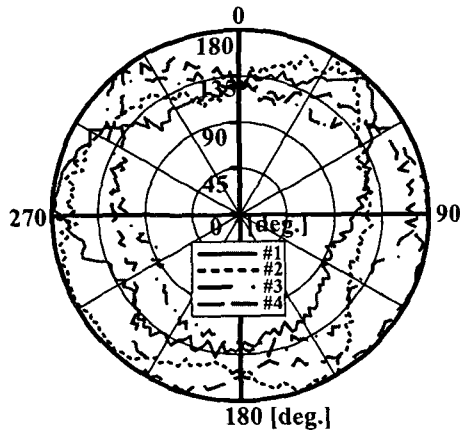
(c) DOA is -30°

Fig. 7. DOA estimation results of -30°, 0° and 60°.

도래방향추정 결과 입사각이 0°일 때는 정확히 추정하지만 다른 각도로 입사할 때에는 오차가 다소 발생하는 것을 확인할 수 있다. 도래방향추정 오차 발생 요인으로는 수신 어레이 안테나의 지향성 왜곡 및 어레이 안테나의 부정확한 간격에 의한 영향이 고려된다. 그림 8 (a)는 실제 측정된 어레이 안테나 각 소자의 지향성 패턴을, (b)는 그 위상을 나타낸다. 각 소자의 값들은 각 소자의 최대값을 기준으로 정규화하였다. 방향에 대한 진폭에서 10 dB, 위상에서 62° 정도의 변동이 발생하였다. 그림 9는 그림 8의 값들에 대한 ±90° 범위만 나타낸 것이다. 이것이 도래파의 진폭, 위상에 영향을 주어서 도래방향추정 오차를 발생시키는 것이다. 특히, ±90°에서 소자간의 불균일에 의한 왜곡이 발생한다는 것이다. 이것은 선형 어레이에 있어서 소자 간격의 불균일이 그 방향의 각 소자의 지향성에 큰 영향을 주는 것으로 고려된다.

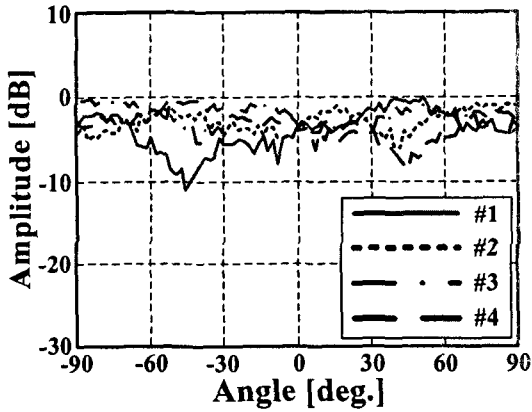


(a) Amplitude

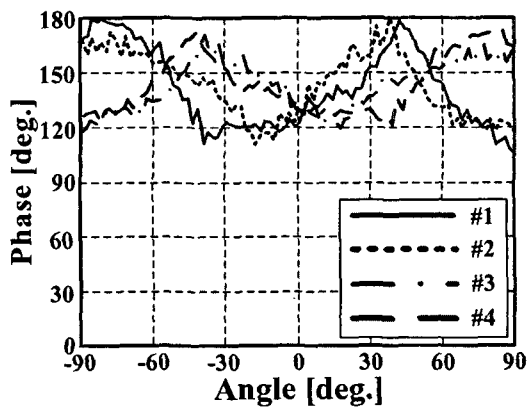


(b) Phase

Fig. 8. Amplitude and phase pattern of array antenna.



(a) Amplitude



(b) Phase

Fig. 9. Amplitude and phase of array antenna $\pm 90^\circ$.

III. 결론

본 논문에서는 DBF 수신기를 이용하여 도래방향측정시스템 대한 실험 결과를 제시하고 검토하였다. DBF 수신기는 low IF 방식에 의한 저항성 FET 믹서로 제작하였다. 사용한 RF 주파수, LO 주파수, IF 주파수는 각각 2.09 GHz, 2.08 GHz, 10 MHz이다. 도래방향추정 측정시스템은 전파압실에서 선형 어레이 안테나, DBF 수신기, AD control box, 컴퓨터로 구성하였으며, 도래방향추정을 위한 디지털 신호처리부에는 MUSIC 알고리즘을 코딩하였다. 측정 결과, 입사각도가 0° 일 때는 거의 정확히 그 방향을 추정하였으나 -30° , 60° 에서는 오차가 발생하였다. 오차발생 요인은 사용된 어레이 안테나의 지향성 왜곡에 의한 영향과 어레이 안테나 소자간 부정확한 간격으로 고려된다. 도래방향추정시 발생하는 오차를 줄이는 방법으로는 정확히 반파장 간격을 가지는 어레이 안테나, dynamic range가 넓은 DBF 수신기의 구현, 수치 계산에 의한 오차 보정법 등이 있으며, 이에 대한 연구를 계속하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Y. Karasawa, "The Software Antenna: A New Concept of Kaleidoscopic Antenna in Multimedia Radio and Mobile Computing Era", IEICE Trans., Comm., Vol. E80-B, No. 8, pp.1214-1217, Aug. 1997.
- [2] Jee-Won Ko, Kyeong-Sik, Hiroyuki ARAI, "Design for the Low IF Resistive FET Mixer for the 4-Ch DBF receiver", JKEES, Vol. 2, No. 2, pp.117-123, Nov. 2002
- [3] Minseok Kim, Koichi Ichige and Hirouki Arai "FPGA-Based DSP Implementation of Simple MRC Digital Beamforming Antenna", Technical Report of IEICE, AP-2001-49.
- [4] M. Kim, H. Arai and M. Fukuta "Development of a Digital Prototype Board for Adaptive Array Antenna Receiver", B-1-151, 2001 IEICE Society Conference.