어댑티브 안테나 시스템용 디지털 수신기의 적응신호처리에 관한 연구

민 경 식*, 0박 철 근*, 고 지 원*, 임 경 우*, 이 경 학**, 최 재 훈**
*한국해양대학교 전파공학과
**한국산업기술평가원
*ksmin@hanara.kmaritime.ac.kr

A Study on Adaptive Signal Processing of Digital Receiver for Adaptive Antenna System

Kyeong-Sik Min*, 0Chul-Keun Park*, Jee-Won Ko*, Kyeong-Woo Im*, Kyoung-Hak Lee**, and Jae-Hoon Choi**
*Department of Radio Sciences & Engineering,
College of Sciences and Engineering, Korea Maritime University
**Korea Institute of Industrial Technology Evaluation & Planning,
395-67, Sindaebang-Dong, Dongjak-Ku, Seoul, 156-010 Korea
(Lotte Kwanak Tower 7th)

Abstract

This paper describes an adaptive signal processing of digital receiver with DDC(Digital Down Convertor). DDC is implemented by using NCO(Numerically Controlled Oscillator), digital low pass filter. For the passband sampling, we present the results of digital receiver simulation with DDC. We confirm that the low IF signal is converted to zero IF by DDC. DOA(Direction Of Arrival) estimation technique using MUSIC(MUltiple SIgnal Classification) algorithm with high resolution is presented. We know that an accurate resolution of DOA depends on the input sampling number.

Key words : Digital receiver, DDC, DOA, MUSIC, Zero IF

I. 서 론

무선통신 기술은 급속히 성장하고 있으며, 특히 휴대전화로 대표되는 이동통신 분야는 급속한 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 변화시킬 수 있는 능동적 시스템이 필수적이다. 예를 들어 어댑티브 안테나 시스템이 적절한 후보이며, 인공지능 안테나를 의미하는 스마트 안테나, 소프트웨어 무선안테나, 디지털 빔포밍 안테나와 같은 것들이 이에 속하며, 이들은 디지털 신호처리부와

결합된 형태이다[1]. 어댑티브 안테나 시스템은 어댑티브 알고리즘에 의해 송신기에서 이 시스템이 원하는 이동체를 향하여 최대 방사 패턴 조절이 가능하게 하고, 수신시스템에서는 다중경로 페이딩 에너지를 제거할 수 있으므로 보다 높은 비트 레이트로 서비스를 제공할 수 있다[2].

차세대 이동통신용 기지국에서는 수신된 사용자의 정보신호를 실시간으로 처리하기 위하여 디지털 신호처리부가 매우 큰 비중을 차지한다. 기저대역 샘플링 방식을 이용한 기존의 수신 시스템은 아날로그로부터 오는 신호를 직교성분의 기저대역 신호로 변환, 샘플링하여 디지털신호화하기 때문에 부품 수가 많아져 시스템의 크기가 커지고, DC Offset 등이 문제가 되며, I/Q신호의 완전한 직교성을 얻기 어렵다.

이에 본 논문에서는 입력신호가 고속 ADC에 의해 디지털신호로 변환된 후, DDC(Digital Down Convertor)에서 수치적으로 직교성분의 신호를 분리하고, 디지털 LPF를 써서 Zero IF신호로 만든다. 이 통과대역 샘플링 방식을 이용하여 희망파의 도래방향을 추정하도록 하였다. 희망파의 추정을 위해 고분해능을 가진 MUSIC(MUltiple SIgnal Classification) 알고리즘을 사용하였고, 본 논문에서는 디지털적으로 처리된 수신 신호의 도래방향 추정의 정확도를 시뮬레이션한 결과를 제시한다.

II. 본 론

2-1. 어댑티브 안테나 시스템

그림 1은 어댑티브 안테나 시스템용 Low IF 수신 시스템의 블록도를 나타낸다. 이 시스템은 다이렉트 컨버젼 방식과 유사하지만 ADC(Analog to Digital Convertor)로 전달되는 신호가 Zero IF가 아닌 낮은 IF 주파수를 기저대역으로 변환하는 방식이다. 안테나로부터 입력된 신호는 아날로그부를 거쳐 IF단으로 신호가 출력되고, 출력된 IF 신호는 고속 ADC에 의해 샘플링된 다음, DSP(Digital Signal Processing)와 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 표시된 디지털단의 DDC를 통과하면서 Zero IF의 신호로 변환된다. 이 신호는 FPGA에 의해 디지털적으로 빔 형성 처리를 수행하여 사용자 정보신호의 도래방향을 추정하게 된다.

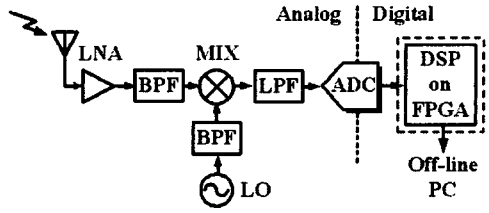


Fig. 1. Block diagram of Low IF receive System.

그림 2는 어댑티브 안테나 시스템의 구성을 나타낸다. 이 시스템은 어레이 안테나, 아날로그 회로부, 빔포밍 네트워크, 어댑티브 프로세서로 구성된다. 여기서, $x_K(n), w_K$는 각각 임의의 이산 시간을 n이라고 할 때, K개의 어레이 안테나에 수신되는 신호와 수신신호의 진폭과 위상을 제어하는 빔포밍 네트워크에 해당된다. 어댑티브 프로세서에는 사용자 정보신호의 도래방향을 추정하기 위한 알고리즘으로 MUSIC이나 ESPRIT(Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) 등이 이용되고 있다.

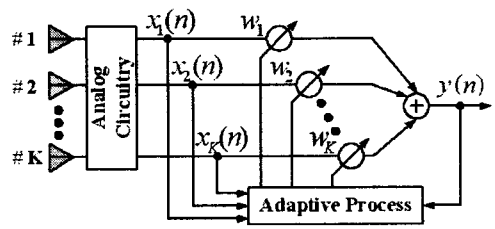


Fig. 2. Adaptive antenna system configuration.

어댑티브 안테나 시스템을 이용하여 디지털 신호처리를 하기 위하여 그림 3과 같은 선형 어레이 구조를 고려한다. 어레이 안테나는 K개의 안테나 소자와 등간격 선형 어레이로 안테나에 수신되는 전자파는 근사적으로 평면파로 가정한다. 어레이의 법선 성분과 수신신호의 입사 방향 사이를 θ로 두고, 임의의 이산 시간이 n일 때, k 번째 소자에 입사되는 입력신호는 식 (1)과 같다.

$$x_k(n) = s_k(n) \cdot \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda} d_k \sin\theta\right) \qquad (1)$$

여기서, $s_k(n)$, λ, θ, d는 각각 입력신호의 진폭, 평면파의 주파수 파장, 입사각도, 안테나 소자간의 간격이며, 이 간격을 일반적으로 입사되는 전자파의 반파장($\lambda/2$)으로 한다. 그리고 K=1, 2, …, k이다.

어댑티브 어레이 안테나의 출력신호는 식 (2)에 나타낸 것과 같이 입력신호와 어댑티브 알고리즘에 의해 결정되는 최적 웨이트와 내적의 합으로 표현된다.

$$y(n) = \sum_{k=1}^{K} w_k^* \cdot x_k(n) \qquad (2)$$

식 (1), (2)를 벡터로 표현하면

$$\hat{X}(n) = [x_1(n)\ x_2(n)\ \cdots\ x_k(n)]^T \qquad (3)$$

$$\hat{Y}(n) = \hat{W}^H \hat{X}(n) \qquad (4)$$

이 되고, 출력신호 $\hat{Y}(n)$은 Hermitian 공간내의 내적으로 표현된다.

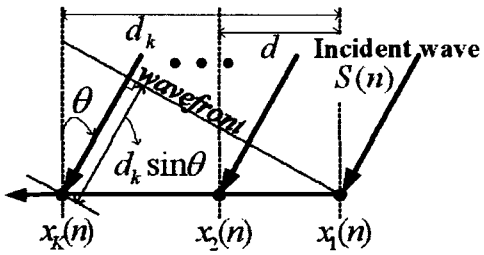


Fig. 3. K-element uniform linear array.

참고문헌[3]와 같이 고유치를 QR분해해서 어댑티브 프로세서에 의해 희망파의 도래방향을 추정하게 된다. 희망파의 추정을 위해 고분해능을 가진 MUSIC 알고리즘을 사용하였다. DDC에 대한 설명은 다음 절에 상세히 서술하였다.

2-2. DDC에 의한 디지털 수신기

그림 4는 DDC에 의한 디지털 수신기의 블록도를 나타낸다. 이 수신기는 고속 ADC, DDC, 어댑티브 프로세서로 구성된다. 그리고 DDC는 NCO (Numerically Controlled Oscillator)와 디지털 LPF로 구성된다[4]. DDC에서 w_c는 IF 신호의 반송파 주파수이고, n은 샘플링 수이다. 입력된 IF 신호는 ADC에 의해 샘플링되고 DDC를 거쳐 Zero IF 신호로 다운컨버전된다. 그리고 어댑티브 프로세서는 이 신호를 이용하여 수신신호의 도래방향을 추정하게 된다.

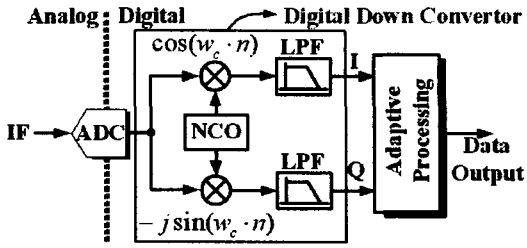


Fig. 4. Digital Receiver with DDC.

그림 5는 DDC에서 샘플링된 신호를 직교신호로 분리하기 위한 NCO와 수행과정을 나타낸다. NCO는 순차 스위칭 회로(0, 1, 0, -1)로 구현된다. 다운컨버젼 처리는 대역통과된 신호와 NCO에 의해 발생되는 디지털 cos/sin의 곱으로 이루어진다. 그리고 샘플링 주파수는 IF 중심주파수의 4배로 설정하였다.

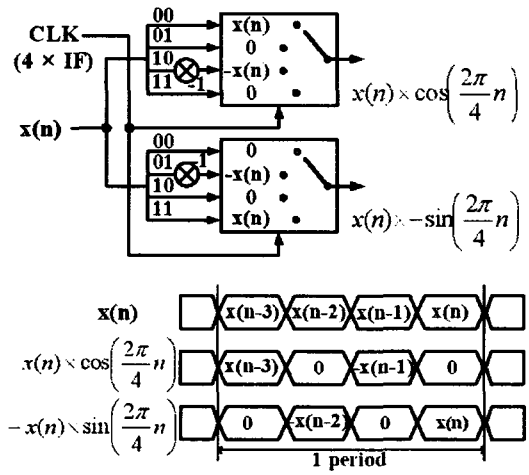
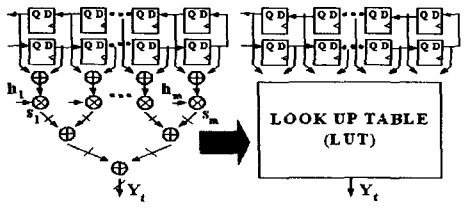


Fig. 5. Implementation of NCO.

LPF의 입력은 NCO와 샘플링된 신호가 곱해진 신호이고, 출력은 복소 기저대역 신호이다. LPF는 직교성분으로 분리된 신호의 고조파 성분을 억제하고, 주파수는 기저대역으로 변환된다. 그림 6 (a)는 일반적인 선형 위상 응답을 가지는 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 나타낸다. 이 필터는 탭이 중심값을 기준으로 상하 대칭인 구조를 가진다. 그림 6 (a)는 FPGA의 LUT (Look Up Table)를 이용하여 그림 6 (b)와 같이 최적화된다. 필터의 곱셈과 덧셈은 LUT를 사용하여 병렬로 처리된다.



(a) (b)

Fig. 6. (a) Conventional FIR filter.
(b) FIR filter using LUT.

2-4. 시뮬레이션 결과

그림 7은 그림 4에 나타낸 디지털 수신기를 4채널로 구성하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. ADC에 의해 샘플링된 IF 신호를 그림 7에서 보여주고 있다. 4채널 어레이 안테나에 수신되는 신호의 도래방향은 -30°, 0°, 10°로 가정하였다. 그리고 IF 주파수는 10 MHz, 기저대역 주파수는 0 Hz, 샘플링 주파수는 40 MHz, ADC는 12 비트로 가정하였다.

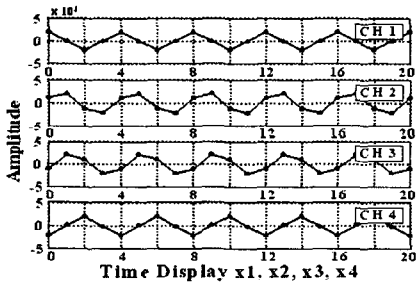


Fig. 7. IF Sampling with ADC.

그림 8은 DDC에서 직교성분의 신호로 분리되는 결과를 나타낸다. 이것은 샘플링된 IF 신호와 NCO에 의해 발생된 디지털 신호를 곱한 것이다. 실선은 코사인(cos)이 곱해진 동위상 성분, 점선은 사인(sin)이 곱해진 직교위상 성분의 신호이다. 이는 실제 대역통과되는 신호이다.

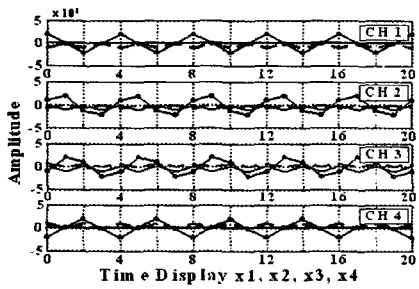


Fig. 8. Real passband(IF) signal.

그림 9는 디지털 LPF에 의해 다운컨버젼된 신호를 나타낸다. 8탭의 FIR 필터의 입력은 대역통과된 신호와 디지털화된 정현파 신호의 곱으로 생성된 신호이고 출력은 고조파 성분이 제거된 Zero IF 신호이다. 이 신호가 DC 성분만 가지는 것을 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있다. 실선과 점선은 각각 LPF를 통과한 동위상 성분의 신호와 직교위상의 신호이다.

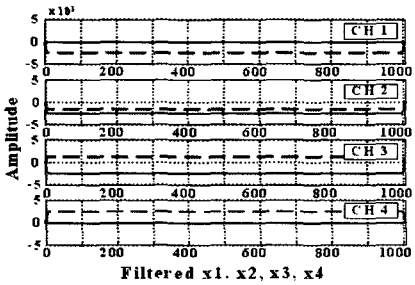


Fig. 9. Complex baseband signal.

그림 10은 각각 통과대역 신호와 LPF를 통과한 신호를 푸리에 변환하여 얻은 결과를 나타낸다. 통과대역 신호가 정확히 10 MHz임을 임펄스 응답으로 알 수 있다. LPF에 의해 다운컨버젼된 신호는 Zero IF 신호로 주파수 영역에서 어떠한 신호의 성분도 없음을 그림 10으로부터 알 수 있다.

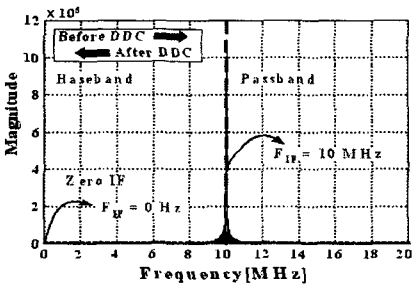


Fig. 10. Frequency display of impulse response.

그림 11은 MUSIC 알고리즘을 프로그램화하여 도래방향을 추정한 결과를 나타낸다. 이 알고리즘의 입력은 DDC를 통과한 Zero IF 신호로, 안테나 소자간 간격은 반파장(0.5 λ), 입력 SNR은 20 dB로 설정하였다. 앞서 가정한 바와 같이 4채널 어레이 안테나에 수신된 신호의 도래방향 -30°, 0°, 10°를 정확히 추정하고 있음을 볼 수 있다.

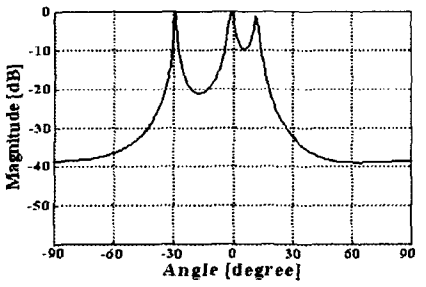


Fig. 11. Result of DOA estimation by adaptive process with MUSIC.

그림 13은 입력된 신호를 각각 4, 20, 40개로 샘플링하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 4채널 어레이 안테나에 수신되는 신호의 도래방향을 -30°, 0°, 10°을 정확히 추정하고 있다. 그리고 샘플링 수가 증가함에 따라 사용된 알고리즘의 분해능이 향상되는 것을 알 수 있다.

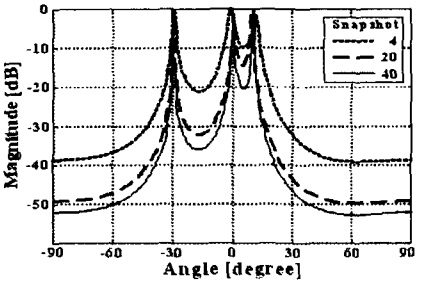


Fig. 12. DOA estimation by MUSIC with various snapshot.

III. 결 론

본 논문에서는 DDC에 의한 디지털 수신기의 적응신호처리에 관하여 서술하였다. DDC는 NCO, 디지털 LPF를 이용하여 수행되었고, 통과대역 샘플링 방식을 이용한 디지털 수신기에 대해 시뮬레이션한 결과를 제시하였다. 또한, 디지털 수신기에서 DDC에 의해 Zero IF가 출력되는 것을 확인하였다. 그리고 어댑티브 프로세서에 사용된 MUSIC 알고리즘의 시뮬레이션 결과, 도래방향 추정각의 분해능은 고분해능과 입력 샘플링 수에 의존되는 것을 확인하였다.

금후의 과제는 FPGA를 이용하여 디지털 수신기를 하드웨어로 구현하고 측정실험을 통하여 Zero IF 신호와 정확한 도래방향 추정을 입증하는 것이다.

참고 문헌

[1] Y. Karasawa, "The Software Antenna: A New Concept of Kaleidoscopic Antenna in Multimedia Radio and Mobile Computing Er a," *IEICE Trans., Comm.*, Vol. E80-B, No. 8, pp.1214-1217, Aug. 1997.

[2] G. Prescott and S. Gurrapu, "Design And Implementation of a DSP Digital Beam Forming Receiver," Information and Telecom munication Technology Center, University of Kansas, *1997 ICSPAT Proceeding.*

[3] 민경식, 박철근, 고지원, 임경우, 이경학, 최재훈, "어댑티브 어레이 안테나의 도래방향추정을 위한 디지털 신호처리에 관한 연구," *2002년 도 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집*, Vol 25, No 2, pp. 309-312, 2002. 9.

[4] Minseok Kim, "A Study of Implementation of Digital Signal Processing for Adaptive Array Antenna," *Thesis, Yokohama national University*, 2002. Japan.