

Amplitude Approach 방법을 이용한 신호원의 실시간 위치탐지에 관한 연구

신정록*, 송우영

A Study on the real-time Position-searching System using the Amplitude Approach Method

Jeong-Rok Shin, Woo-Young Song

요 약

본 논문에서는 1차원 움직임을 갖는 신호원의 위치를 실시간으로 탐지하기 위해 N 개의 안테나를 반원형 구조로 배열하였고, 각각의 수신어레이로부터 수신 전력패턴과 3차 spline 보간법만을 사용하여 신호원의 입사각을 추정하고, 이로부터 신호원의 수평이동 좌표를 화면에 실시간으로 표시하는 시스템을 구현한 논문이다.

본 논문에서 사용한 신호원은 X 대역의 10.52GHz로 10~20dBm 사이의 송신출력으로 하였고, 신호원의 위치를 좌우 $\pm 15^\circ$ 이내의 임의의 좌표로 수평 이동하면서 제시한 방법의 타당성을 검증하고자 한다.

Abstract

In this paper, in order to break with real-time position of signal source which have first dimension motion, the N antenna is arrayed with half-circle, the incident angle of signal source from receiving power pattern to receive at receive antenna is estimated and measured, and the system that measure horizontal moving distance of signal source is designed.

Signal source is constructed by 10~20dBm transmitter power which frequency is 10.52GHz of X band, and on horizontally moving the position of signal source, validity of new method is confirmed.

I. 서론

19세기말 마르코니에 의해 무선통신시대가 열리면서 수많은 형태의 안테나가 개발되어 왔다. 이렇게 개발된 안테나는 사용목적과 주파수 대역에 따라 안테나 크기와 형태가 서로 다를 뿐만 아니라 그 특성 또한 다르게 설계되었다. 이렇듯 안테나에 대한 중요성이 선진국을 중심으로 이미 강조되어 왔으나, 현재 우리나라에서는 안테나의 중요성이 대두되지 못한 관계로 선진국에서 개발된 안테나를 모방 또는 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 한편으로 정보통신 선진국에서는 무선통신 서비스 기술이 고부가가치기술로 인정되어 많은 투자와 연구개발을 수행하고 있으며, 국내에서도 이동통신서비스가 상용화됨에 따라 이동국과 고정국의 단말기로 사용되는 안테나 뿐만 아니라 기지국 안테나 및 방향탐지와 목표물의 위치 추적을 위한 레이더(radar)에 대한 활발한 연구가 절실히 요구되고 있다. 그러나 국내의 안테나 설계 및 측정기술은 선진국에 비교해보면 매우 취약한 상태이다. 이러한 이동체의 위치탐지를 위한 방법으로는 AOA(Angle of Arrival), TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival) 및 AOA와 TOA를 혼합한 형태가 사용되고 있으나 이러한 무선측위 즉 방향탐지법들은 far-field에서의 위치추정방법들로 분해능이 떨어지고 시스템 구성이 복잡할뿐만 아니라 매우 유지보수비가 비싸다.

그러나 본 논문에서는 지향성 안테나만을 사용하여 near-field에서 보다 효율적으로 1차원적으로 이동하고 있는 신호원의 위치를 실시간으로 추적할 수 있는 지능형 안테나시스템을 구현하고자 하며, 이때 이동 신호원을 좌·우로 수평 이동시켜가면서 각각의 수신안테나로 들어오는 수신전력 패턴과 3차원 spline 알고리즘을 적용하여 전파의 정확한 도래방향 즉 입사각을 추정하고 이로부터 수평이동한 거리정보를 추출함으로써 위치정보 화면에 실시간으로 나타내고자 한다. 그러므로 Amplitude Approach 방법은 마그네트론과 beam scanning을 위한 모터, power combiner 및 발진기 등을 사용하는 레이더방식에 비해 보다 경제적이면서도 시스템 구성이 간단한 장점을 가지

고 있고 처리속도 또한 600ms이내에서 정확한 위치정보를 표시할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 Amplitude Approach 방법에 대하여 이론적으로 고찰하고 실험을 통하여 그 타당성을 검증하고자 한다.

II. 피라미드 혼 안테나 배열 시스템

2.1 피라미드 혼 안테나

피라미드 혼 안테나는 그림 1.과 같이 E-면 선형 혼 안테나와 H-면 선형 혼 안테나가 혼합된 형태로서 E-면과 H-면의 전계강도에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{y'}(x', y') = E_0 \cos\left(\frac{\pi}{a_1} x'\right) e^{-j\pi k(x'^2/\rho_2 + y'^2/\rho_1)/2l} \quad (1)$$

$$H_{x'}(x', y') = -\frac{E_0}{\eta} \cos\left(\frac{\pi}{a_1} x'\right) e^{-j\pi k(x'^2/\rho_2 + y'^2/\rho_1)/2l} \quad (2)$$

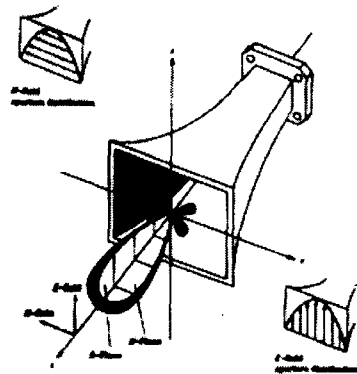


그림 1. 피라미드 혼 안테나의 구조와 빔 패턴

이때 등가전류밀도는

$$J_y'(x', y') = -\frac{E_0}{\eta} \cos\left(\frac{\pi}{a_1} x'\right) e^{-j\lambda k(x'^2/\rho_2 + y'^2/\rho_1)/2} \quad (3)$$

$$M_x'(x', y') = E_0 \cos\left(\frac{\pi}{a_1} x'\right) e^{-j\lambda k(x'^2/\rho_2 + y'^2/\rho_1)/2} \quad (4)$$

으로 나타낼 수 있다.

far-field에서 혼(Horn)의 개구면과 송·수신 안테나 사이의 거리(r)를 고려한 E -면의 전계강도는 다음의 (5)~(7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_r = 0 \quad (5)$$

$$E_\theta = \frac{jk_0 a' b E_0}{4r} e^{-jk_0 r} \sin \psi \frac{\sin \nu}{\nu} \frac{\cos \nu}{(\pi/2)^2 - \nu^2} \quad (6)$$

$$E_\phi = \frac{jk_0 a' b E_0}{4r} e^{-jk_0 r} \cos \psi \cos \theta \frac{\sin \nu}{\nu} \frac{\cos \nu}{(\pi/2)^2 - \nu^2} \quad (7)$$

여기서

$$\nu = (k_0 b/2) \sin \theta \sin \psi,$$

$$\nu = (k_0 a'/2) \sin \theta \cos \psi \text{ 이다. 그리고 지향성계수}$$

(D)는

$$D = \frac{\pi}{32} \left[\frac{\lambda}{a} D_E \right] \left[\frac{\lambda}{b} D_H \right] \quad (8)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 D_E 와 D_H 는 각각 E -면과 H -면의 지향성계수로써

$$D_E = \frac{a}{\lambda} \sqrt{\frac{G_E}{50}} \frac{1}{\rho_e/\lambda} \quad (9)$$

$$D_H = \frac{b}{\lambda} \sqrt{\frac{G_H}{50}} \frac{1}{\rho_h/\lambda} \quad (10)$$

으로 나타낼 수 있고, G_E 와 G_H 는 E -면과 H -면의 이득을 나타낸다.

이때 송·수신안테나의 이득을 구하기 위해서는 송·수신전력을 각각 측정하여 구할 수 있다. 만일 각각의 피라미드 혼 안테나가 동일한 크기를 갖고 동일한 이득(G_T ,

G_R)를 갖는다고 가정할 때, 수신전력 P_R 은 송신전력 이 P_T 이고 측정거리 R 만큼 떨어진 곳에서는

$$P_R = \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} G_T G_R P_T \quad (11)$$

으로 나타낼 수 있으므로 준식은

$$G_T = G_R = \frac{4\pi R}{\lambda} \sqrt{\frac{P_R}{P_T}} \quad (12)$$

이다. 결국, 송·수신안테나의 전력비가 측정되면 이득을 비교적 간단히 측정하거나 구할 수 있다.

송신전력과 수신전력의 측정방법으로는 우선, 송신기에서 안테나와 송신기와의 정합을 완전하게 하고, 수신기에서도 마찬가지로 방법으로 정합을 한 후, 이때의 출력력을 P_R 이라 한다. 다음에 송신기를 안테나에 연결하지 않은 상태에서 직접 수신안테나 접속부에 연결한 후 송신출력 P_T 를 측정 기록한다.

2.2 피라미드 혼 안테나배열

지향성을 갖는 피라미드 혼 안테나를 그림 2와 같이 배열한 후, 각각의 수신안테나로부터 수신전력패턴을 취득하여 이들로부터 지상에서 이동하고 있는 신호원의 정확한 입사각 정보를 실시간으로 파악하고자 한다. 이때 안테나와 안테나 사이의 배열간격을 극히 작고, 배열안테나의 소자 수를 무한히 많다고 가정할 경우, Huygens의 원리에 따라 안테나의 연속 배열은 전자계 또는 판상 전류분포와 등가로 놓을 수 있으므로 개구면에 분포하는 전자계의 분포와 같이 취급할 수 있다.

그림 2로부터 1차원적으로 수평이동하고 있는 신호원의 위치정보(tx, r)를 구하기 위하여 R_2 방향의 단위벡터 a_{R2} 와 수신안테나로의 입사각 ϕ 를 구하는 과정은 다음과 같다. R_1 과 R_2 벡터는

$$R_1 = x a_x + y a_y \quad (13)$$

$$R_2 = R_1' - R_1 = (t x a_x + r a_y) - (x a_x + y a_y) \quad (14)$$

$$= (t x - x) a_x + (r - y) a_y$$

으로 나타낼 수 있으므로, R_2 벡터의 크기는

$$|R_2| = \sqrt{(t x - x)^2 + (r - y)^2} \quad (15)$$

이다. 그러므로 R_2 방향의 단위벡터 a_{R2} 는

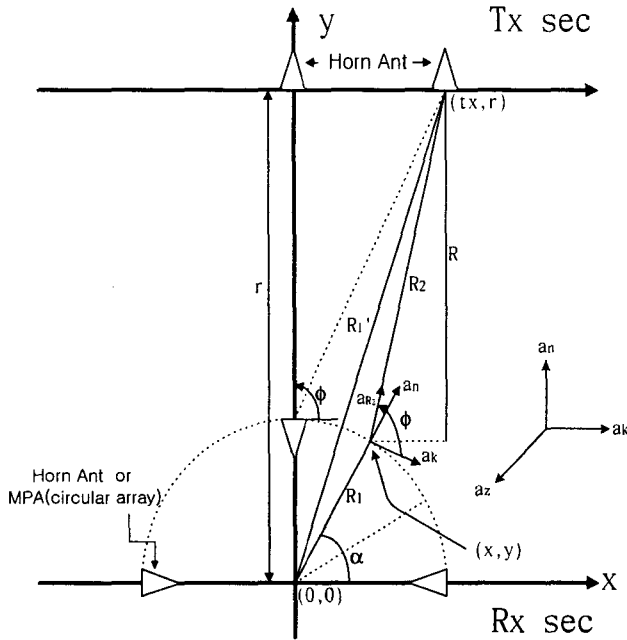


그림 2. 반-원형으로 배열된 시스템 구성도

$$a_{R2} = \frac{R_2}{|R_2|} = \frac{(tx-x)a_x + (r-y)a_y}{\sqrt{(tx-x)^2 + (r-y)^2}} \quad (16)$$

이다. 신호원으로부터 수신안테나로 입사되는 전력의 입사각 ϕ 는 $x=R_1 \cos \alpha$, $y=R_1 \sin \alpha$ 이므로 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_n = \frac{R_1}{|R_1|} = (\cos \alpha)a_x + (\sin \alpha)a_y \quad (17)$$

$$a_k = a_n \times a_z = (\sin \alpha)a_x - (\cos \alpha)a_y \quad (18)$$

따라서 수신안테나로 입사되는 신호의 입사각 ϕ 는

$$\begin{aligned} \cos \phi &= a_{R2} \cdot a_k \\ &= \frac{(tx-x)a_x + (r-y)a_y}{R_2} \cdot (\sin \alpha a_x - \cos \alpha a_y) \\ &= \frac{(tx-x) \sin \alpha - (r-y) \cos \alpha}{R_2} \end{aligned} \quad (19)$$

∴

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{(tx-x) \sin \alpha - (r-y) \cos \alpha}{R_2} \right) \quad (20)$$

Ⅲ. 시뮬레이션/실험 및 결과고찰

본 논문에서는 x-band 10.52GHz 주파수를 사용하여 WR-90 표준규격을 갖는 구형도파관과 개구의 디멘전이 $64.3 \times 82.5\text{mm}$ 인 피라미드 혼 안테나를 반-원형배열하여 1차원적으로 수평이동하는 신호원의 위치정보를 실시간으로 탐색하고자 한다. 이때 피라미드 혼 안테나를 사용한 수신시스템의 배열은 그림 2와 같이 반원형(semicircle)으로 배열하였으며, 각각의 단일 안테나로만 보았을 경우 즉 송수신 안테나 사이의 측정거리가 30cm 이상인 far-field이지만, 45cm의 반경을 갖는 반원형배열 수신시스템 전체의 크기에 비해 near-field로 볼 수 있고, 수신 배열안테나 각각에 수신되는 신호의 입사각이 서로 다르게 나타날 수 있는 near-field에서 측정을 하고자 한다.

뿐만 아니라 1차원적으로 이동하고 있는 신호원의 송신출력은 측정거리에 따라 최소 10dBm에서 최대

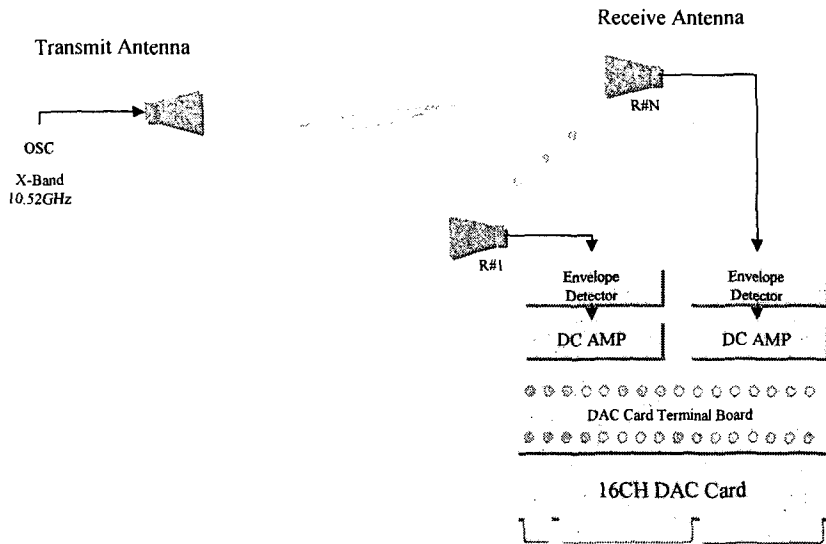


그림 3. Amplitude Approach법의 측정시스템 구성

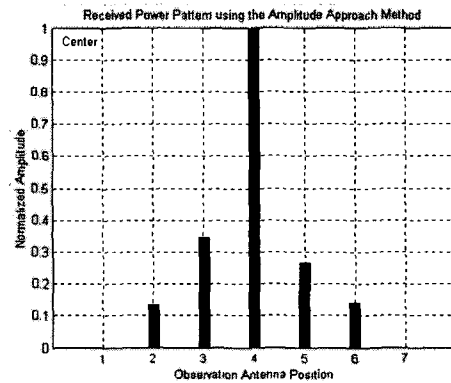
20dBm까지로 설정하였다. 그리고 각각의 수신안테나로 입사되는 수신전력의 정확한 측정을 위하여 RF증폭기, 인벨로프 디텍터(envelope detector), DC증폭기를 사용하였으며 좀더 정확한 측정을 위하여 자동기록 장치인 멀티채널 DAC card(AXIOM 5621H), 데이터 로거(Data Logging)와 컴퓨터를 사용하였다. 수신신호의 전력패턴을 예측하여 신호원 위치를 수신안테나에 수직인 방향에서 1차원적 수평방향으로 조금씩 옮기면서 수신전력을 측정·기록하였다.

수신안테나로부터 입사되는 신호는 인벨로프 디텍터로 수신전력을 감지하고, 이 과정에서 추출된 수신전력을 계측증폭기를 사용하여 DAC Card가 변화되는 수신전력을 구분할 수 있을 정도의 크기(약 10배에서 100배)로 증폭하여 수신신호의 입사각에 대한 정보를 얻고자 한다.

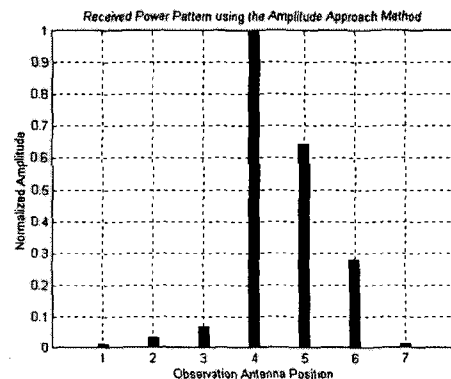
본 논문에서 사용하고자하는 송·수신시스템의 구성은 그림 3과 같다.

3.1 균일한 각으로 반-원형에 배열한 경우

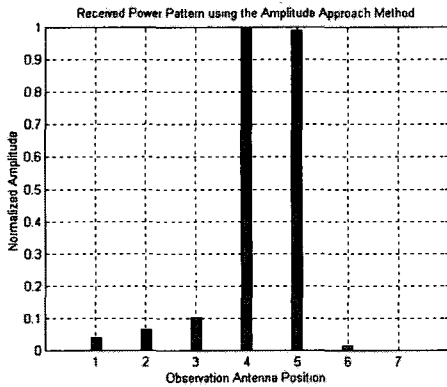
그림 2와 같이 N개의 지향성 파라미드 혼 안테나를 반경이 45cm인 반-원에 일정한 각(15°)으로 균일하게 등분한 후 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135° 에 각각 배열시키고, Amplitude Approach 방법으로 수신전력 패턴을 측정하였다. 신호원의 위치를 결정하기 위해서 수신안테나의 Center를 원점(0,0)으로 하고, 측정거리는 사용하는 파장에 비해 충분히 큰 거리(r)만큼 떨어뜨려 측정하였다.



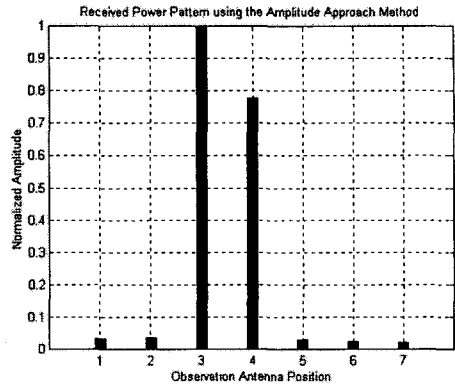
(a) (0,0)에서의 수신전력 패턴



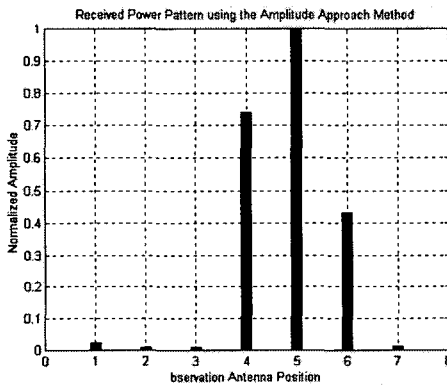
(b) +24만큼 수평이동한 경우



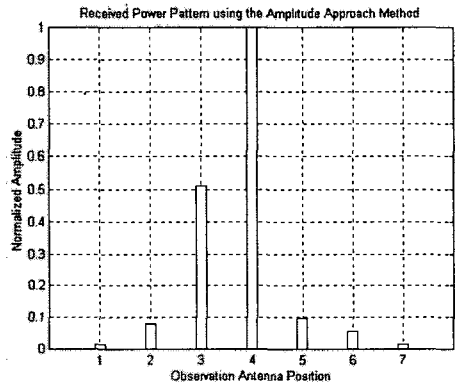
(c) +27cm만큼 수평이동한 경우



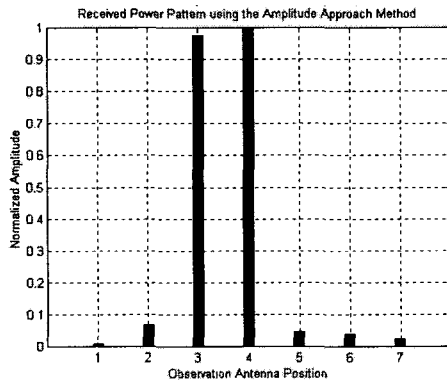
(f) -30cm만큼 수평이동한 경우



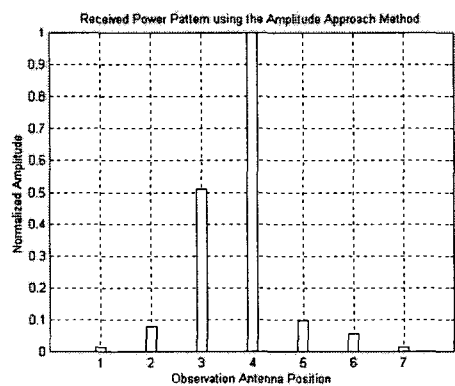
(d) +30cm만큼 수평이동한 경우



(h) -12cm만큼 수평이동한 경우



(e) -27cm만큼 수평이동한 경우



(g) -24cm만큼 수평이동한 경우

그림 4. 균일(15°)하게 반 원에 배열한 경우의 수신전력패턴의 비교

그리고 10.52GHz의 X-대역 주파수를 최소 10dBm에서 최대 20dBm 사이의 출력으로 하여 신호원(HP8350B)의 위치를 (-tx, r)에서 (+tx, r) 좌표까지 1차원적으로 수평 이동하면서 envelope detector로 입사되는 신호를 검출한 후 LM624를 사용한 계측증폭기를 사용하여 증폭한 후 데이터 로거(AD 5321 MLM)와 DAC Card의 각 채널로 입력하였다.

이 과정에서 시간, 온도, 진동과 같은 주변상황에 따라 수신전력의 레벨이 변화함에 따라 발생하는 오차를 줄이기 위해 빠른 속도로 샘플링한 후, 각 채널별로 처음 읽은 값과 마지막 읽은 값을 버린 후 나머지 값들만을 가지고 평균을 구하고, 이들을 이용하여 보간법과 같은 수치해석적 알고리즘을 적용하여 변화하는 이동물체에 대한 실시간 위치정보를 화면에 분석하고 표시하였다. 이때 입사되는 수신전력 패턴만을 보고 수평이동하고 있는 이동물체의 입사각을 얻기 위하여 MATLAB과 C/C++, Visual BASIC으로 처리하였다.

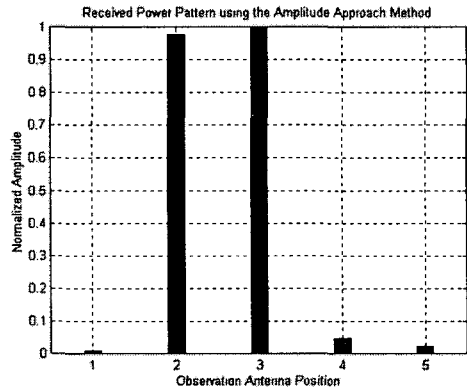
위의 그림 4~그림 6에서도 알 수 있듯이 신호원의 위치가 이동함에 따라서 수신되는 전력패턴 또한 변화한다는 것을 알 수 있었으며, [그림 4]의 (c)와 (e)의 경우 신호원의 위치는 각각 안테나 4와 안테나 5 사이, 안테나 3과 안테나 4사이에 있다는 사실을 알 수 있었고, 이를 보간법 알고리즘을 도입하여 정확한 위치를 파악할 수 있었으며 MATLAB으로 수신전력패턴을 시뮬레이션한 후 측정된 데이터와 비교한 결과 잘 일치함을 알 수 있었다.

3-2. 부-등각으로 반-원형에 배열한 경우

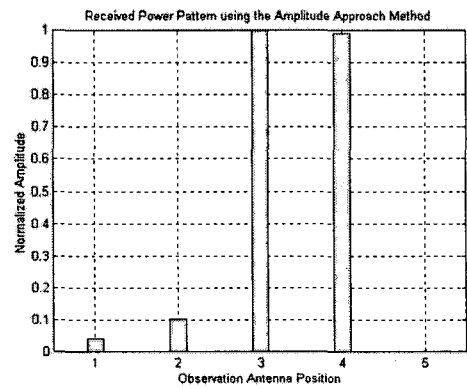
그림 2와 같은 방법으로 N개의 지향성 피라미드 혼 안테나를 반경이 45cm이 반원에 15°와 30° 간격으로 하여 45°, 75°, 90°, 115°, 145°에 반-원형으로 배열시키고 마찬가지로 방법으로 수신전력 패턴을 측정하였다. 이때 신호원의 수평이동 범위를 90cm 이내로 설정하기 위하여 Center 부근에는 15°간격으로 배열하고 나머지는 30°간격으로 배열하였다.

아래 그림 6는 지상에서 1차원적으로 수평이동하고 있는 신호원의 정확한 위치정보를 얻기 위해서 수치해석적인 보간법 알고리즘을 적용한 예를 보이고 있다. 그림 6(a)에서는 중심(0,0)에서 -18cm만큼 수평이동한 경우, 수신한 전력패턴으로부터 얻은 입사각은 83°이므로 신호원의 위치는 (-18.1, 215)이고, (b)는 중심에서 -21cm만큼 수평이동한 경우 수신전력 패턴으로부터 얻

은 입사각은 83.6°이므로 신호원의 위치는 (-20.9, 215)이고, (c)는 중심에서 +30cm만큼 수평이동한 경우 수신전력패턴으로부터 얻은 입사각은 97.2°이므로 신호원의 위치정보는 (+30.2, 215)이고, (d)에서는 +27cm만큼 수평이동한 경우로 (+27.1, 215)를 얻었다.

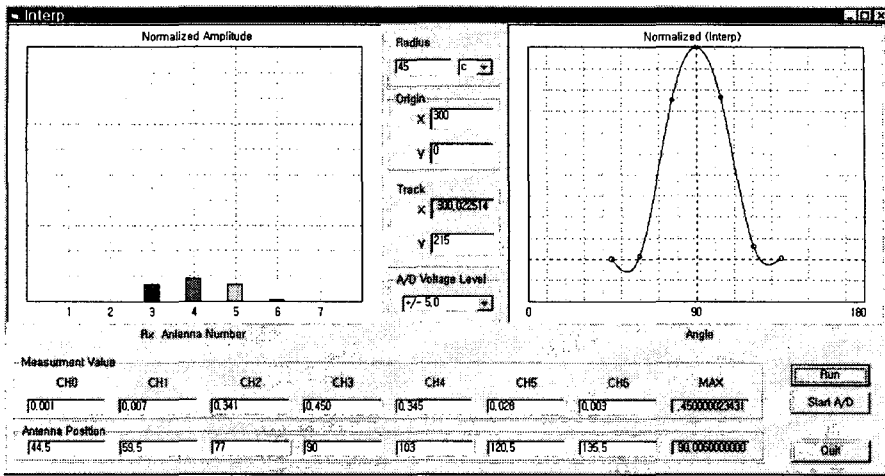


(a) -27cm만큼 수평이동한 경우

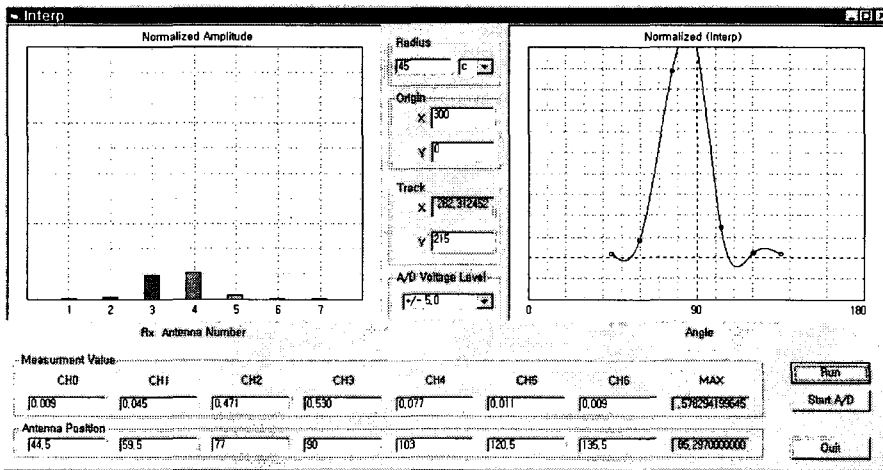


(b) +27cm만큼 수평이동한 경우

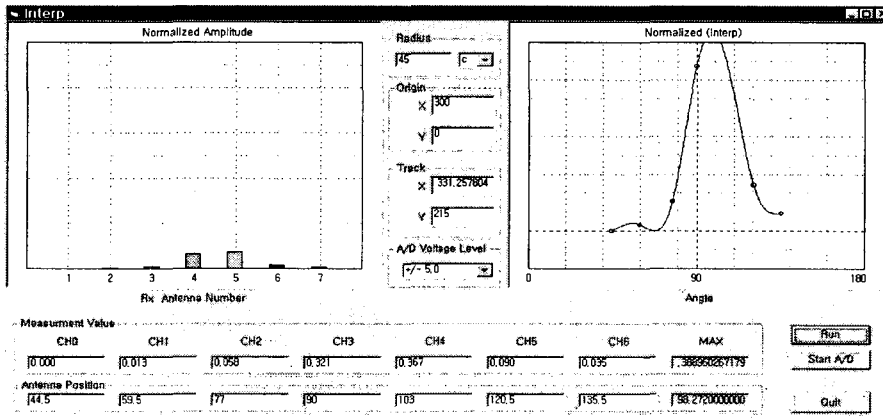
그림 5. 부-등각배열을 이용한 측정된 수신전력패턴의 비교



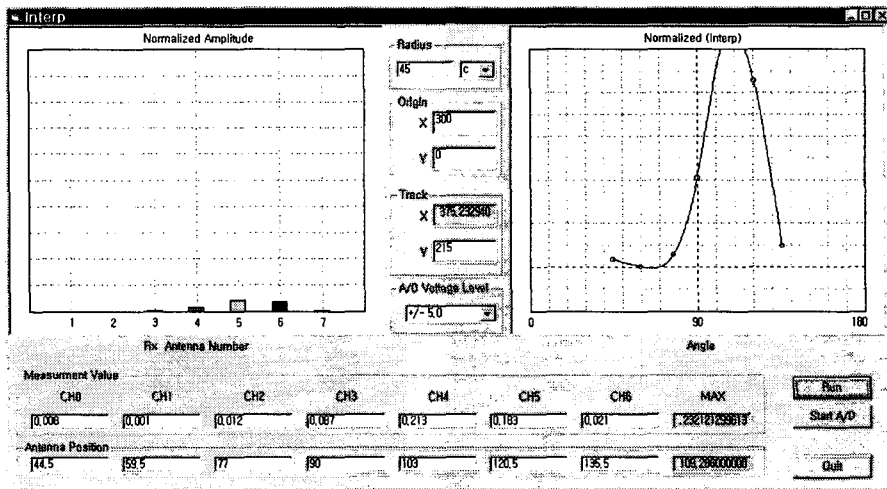
(a) 중심점에서 측정된 경우(x=300.02)



(b) -18cm만큼 수평이동한 경우(x=282.31)



(c) +31cm만큼 수평이동한 경우(x=331.25)



(d) +75cm만큼 수평이동한 경우($x=375.23$)
 그림 6. 3차 spline 보간법을 적용한 수신전력패턴과 이동좌표의 비교

V. 결론

본 논문에서는 반-전력빔폭이 26° 이고, 개구 크기가 $64.3 \times 82.5\text{mm}$ 인 지향성 피라미드 혼 안테나를 균일한 각으로 반원형구조에 배열시킨 경우와 임의의 각으로 반원형구조에 배열한 경우로 나누어 측정시스템을 구성하였고, 지상에서 이동하고 있는 이동물체 즉 신호원의 위치를 1차원적으로 수평이동하면서 실시간으로 신호원의 위치정보를 화면에 나타내었다. 이때 보다 정확히 좌표값을 얻기 위하여 3차 spline 보간법을 적용하였으며, 시간, 온도, 습도 등과 같은 주변의 환경으로부터 좀더 정확한 측정 기록을 위하여 Single Ended 16Channel AXIOM 5621H DAC Card와 컴퓨터를 사용하여 측정해본 결과 측정거리가 215cm일 때 100ms이내의 시간에서 수평이동하고 있는 신호원의 위치정보를 0.144%의 오차이내의 범주로 나타내어 이동 신호원의 송신출력과 수신단의 DAC card의 성능 및 multipath에 의한 noise 영향을 고려한다면 field에 적용할 수 있는 가능성을 보였다.

일반적으로 이동하고 있는 물체의 위치정보를 얻기 위해서는 이동물체에서 반사된 반사파를 이용하는 레이더(RADAR) 방식을 사용하고 있다. 이러한 레이더방식은 마이크로파 발진관인 마그네트론(magnetron)을 사용할 뿐만 아니라 안테나를 지속적으로 기계적인 회전운동과 국부 발진기(Local Oscillator) 및 전력분배기(Power Divider) 등이 필요함으로써 구성이 복잡하고 특정 목적으로만 사용되고 있으므로 고가이다. 반면, 본 논문에서는 지상에서 수평이동하고 있는 신호원의 위치정보를 실시간으로 얻기 위해 간단한 원형배열 구조를 갖는 안테나 시스템과 3차 보간법을 적용하여 정확한 위치탐지가 가능함으로써 보다 경제적으로 시스템을 구성할 수 있다는 장점을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 논문에서는 Amplitude Approach 방법을 사용하기 위하여 각각의 수신안테나로부터 들어오는 수신전력패턴을 측정하여 MATLAB으로 시뮬레이션한 이론치와 비교 분석한 결과 잘 일치하였다. 따라서 원형배열 구조를 갖는 안테나 시스템만을 사용하여 지상에서의 이동하고 있는 신호원의 위치정보를 실시간으로 파악하고 분석할 수 있는 시스템으로 사용할 수 있다는 가능성을 제안하였고, 이를 이동통신 시스템에 적용한다면 신호원의 위치를 파악할 수 있으므로 효율적으로 송신출력과 전파의 도래방향을 제어할 수 있으므로 경제적인 측면에서도 상당한 이득을 얻을 수 있을 것이다.

향후 지상에서의 실시간 무인유도 차량 개발에 필요한 배열안테나 시스템 즉 제작이 용이하며 대량생산이 가능하고 경제적인 마이크로스트립 패치를 이용한 배열안테나 시스템에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 송우영, "A Study on the Waveguide Compound Slot Antenna with Dielectric Layer," Asian Pacific Microwave Conference, s23-4, pp.516-520, 1995. 10.
- [2] 송우영, "임의분포 평면 배열 안테나의 방사패턴 특성에 관한 연구," 산업과학연구, 제12권, pp.27-35, 1994. 8.
- [3] RICHARD L. LEWIS, ALLEN C. NEWELL, "Efficient and Accurate Method for Calculating and Representing Power Density in the Near Zone of Microwave Antennas," IEEE No. Vol. 36. NO. 6. JUNE 1988. pp.890~901
- [4] R. C. Hansen, Microwave Scanning Antennas, Vol. 1-Appertures, New York: Academic, 1964.
- [5] A. C. Newell and D. M. Kerns, "Determination of both polarization and power gain of antennas by a generalized 3-antenna measurement method," Electron, Lett., Vol. 7, pp.68~70, Feb 1971.
- [6] J. Brown and E. V. Jull, "The prediction of aerial radiation patterns from near-field measurements," Proc. Inst. Elec. Eng., Vol. 108B, pp. 636~644, Nov. 1961.
- [7] JOHN D.KRAUS, ANTENNAS 2ED, McGRAW-HILL, 1984.
- [8] M. T. Ma, Theory and Application of Antenna Arrays, Wiley, 1974. Chapter 3. pp.191~202.
- [9] S. A. Schelkunoff, "A Mathematical Theory of Linear Arrays," Bell System Tech. Journal, Vol.22, January 1943, pp.80~87
- [10] S. DRABOWITCH, A.PAPIERNIK, MODERN ANTENNAS, CHAPMAN & HALL,1998.
- [11] WARREN L. STUTZMAN, GRAY A. THIELE, ANTENNA THEORY AND DESIGN, John Wiley & Sons, Inc. 1983
- [12] R.S.Elliott, "Beamwidth and Directivity of Large Scanning Arrays," First of Two Parts, The Microwave Journal, December 1963, pp.53~60.
- [13] BALANIS, ANTENNAS, McGRAW-HILL, 1984.
- [14] W. W. Hansen and J.R. Woodyard, "A New principle in Directional Antenna Design," Proc. IRE, Vol.26, No.3, March 1938, pp.333~345.
- [15] Barton. P, "Digital Beamforming for Radar," IEEE Proc., 127, August 1980.
- [16] R. S. Elliott, "Beamwidth and Directivity of Large Scanning Arrays," Last of Two Parts, The Microwave Journal 1964, pp.321~322.

저자소개



신 정 록

현재 주성대학 조교수

연구분야 : Antenna Propagation,
RF System Design

송 우 영