

초광대역배렬의 복사특성에 대한 연구

정원철, 리영명

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《전자공학과 자동화공학을 발전시키는것은 기계설비를 현대화하기 위하여 나서는 중요한 조건입니다. 전자공학과 자동화공학을 발전시켜야 생산의 종합적기계화와 자동화를 실현할수 있습니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 137~138페이지)

초광대역전파복사는 첨단기술의 하나로서 대상물의 위치결정과 무선통신분야에서 널리 응용되고있다. 선행연구[1-3]에서는 단일한 초광대역복사요소에 의한 복사특성이나 협대역위상배렬안테나의 복사특성에 대하여 논의하였지만 초광대역복사요소들을 배열하여 출력을 높일 때 나타나는 복사특성은 구체적으로 밝히지 못하였다.

논문에서는 초광대역대출력을 얻기 위해 여러개의 초광대역복사요소들을 공간에 배열하여 출력을 합성할 때 얻어지게 되는 복사특성에 대하여 논의하였다.

그림 1에 $M \times M$ 요소로 된 2차원직각배열을 보여주었다.

매 배열요소들은 xz 평면에서 임의의 두 요소사이의 거리가 d 로서 고르게 배치되어있다. 이때 y 축을 배열축으로 정하였다. 매 배열요소는 하나의 초광대역임펄스복사체로서 Q_{ij} 로 표시하였다. 여기서 $i=0, \pm 1, \dots, \pm m$, $j=0, \pm 1, \dots, \pm m$ 이고 $M=2m+1$ 이며 직각배열의 크기는 $D=2md$ 이다. 그리고 직각배열의 중심에 있는 요소 Q_{00} 은 기준요소이다.

그러면 xz 평면우에 있는 어떤 요소 Q_{ij} 의 위치 벡터는 다음과 같다.

$$\mathbf{d}_{ij} = \hat{x}(id) + \hat{z}(jd)$$

여기서 \hat{x} , \hat{z} 은 각각 x , z 축방향의 단위벡터이다.

기준요소 Q_{00} 으로부터 점 $P(r, \theta, \varphi)$ 까지의 기준벡터 \mathbf{r} 는 다음관계에 의하여 주어진다.

$$\mathbf{r} = \hat{x}(r \cos \theta \sin \varphi) + \hat{y}(r \cos \theta \cos \varphi) + \hat{z}(r \sin \theta) \quad (1)$$

여기서 $\theta(-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ)$ 는 위치각, $\varphi(-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ)$ 는 방위각이다.

요소 Q_{ij} 로부터 점 $P(r, \theta, \varphi)$ 까지의 거리벡터 \mathbf{l}_{ij} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{l}_{ij} = \mathbf{r} - \mathbf{d}_{ij} = & \hat{x}(r \cos \theta \sin \varphi - id) + \\ & + \hat{y}(r \cos \theta \cos \varphi) + \hat{z}(r \sin \theta - jd) \end{aligned} \quad (2)$$

이때 거리벡터의 크기는 다음과 같이 계산할수 있다.

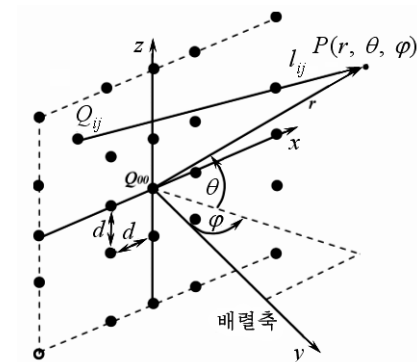


그림 1. $M \times M$ 요소로 된 2차원직각배열

$$l_{ij} = |l_{ij}| = [r^2 - 2r(id \sin \varphi \cos \theta + jd \sin \theta) + (id)^2 + (jd)^2]^{1/2} \quad (3)$$

전자주사용위상배렬안테나는 θ 와 φ 에 의하여 규정되는 복사선도를 가진다. 그러나 초광대역배렬인 경우 매 복사요소 Q_{ij} 에 고유지연시간을 적당히 설정하면 복사신호는 배열초점에 동시에 도착하여 합쳐져 초점파를 발생시킬수 있다.

만일 배열중심에 있는 기준복사요소 Q_{00} 으로부터 배열축에 있는 초점 P_0 까지의 거리를 L ($y=L, \theta=0^\circ, \varphi=0^\circ$) 이라고 하면 배열요소 Q_{ij} 의 초점지연시간 t_{ij} 는 다음의 관계식에 의하여 규정된다.

$$t_{ij} = L/c - [L^2 + (id)^2 + (jd)^2]^{1/2} / c \quad (4)$$

여기서 c 는 빛속도이며 $i=0, \pm 1, \dots, m, j=0, \pm 1, \dots, \pm m$ 이다.

식 (4)에 따라 기준요소 Q_{00} 의 초점지연시간은 $t_{00}=0$ 이며 이 요소로부터 복사된 신호가 배열축의 초점에 도착할 때 제일 짧은 시간(L/c)이 걸린다.

이 경우 배열요소 Q_{ij} 는 기준요소 Q_{00} 보다 앞서서 신호를 복사하게 된다.

물리적으로 실현할수 있는 초광대역전자기임펄스를 표현하는 적당한 신호모형은 시간편차를 가진 가우스임펄스신호로서 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\Omega(t) = E_0 \sum_{k=0}^1 I_k \exp\{-a_k[(t-t_0)/\Delta T]^2\} \quad (5)$$

여기서

$$I_0 = 1/(1-\alpha), I_1 = -\alpha/(1-\alpha), \alpha \neq 1 \quad (6)$$

$$a_0 = 4\pi, a_1 = 4\pi\alpha^2 \quad (7)$$

이며 E_0 은 $t=t_0$ 에서의 첨두진폭, ΔT 는 정격지속시간, α 는 가우스임펄스신호의 에네르기 밀도스펙트르를 규정하는 척도값이다.

한편 $\Omega(t)$ 를 푸리에변환하면 다음과 같은 스펙트르함수를 얻는다.

$$\Lambda(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Omega(t) \exp\{-j2\pi ft\} dt = \left(\frac{E_0}{2(1-\alpha)\Delta f} \right) \exp\{-j2\pi t_0(f/\Delta f)\} \times \{\exp[-(\pi/4)(f/\Delta f)^2] - \exp[-(\pi/4\alpha^2)(f/\Delta f)^2]\} \quad (8)$$

여기서 $\Delta f = 1/\Delta T$ 는 정격주파수대역폭이다.

여기로부터 신호 $\Omega(t)$ 의 출력스펙트르는 $\Psi(f) = |\Lambda(f)|^2$ 이다.

그림 2에 가우스신호의 파형과 그것의 출력스펙트르를 보여주었다.

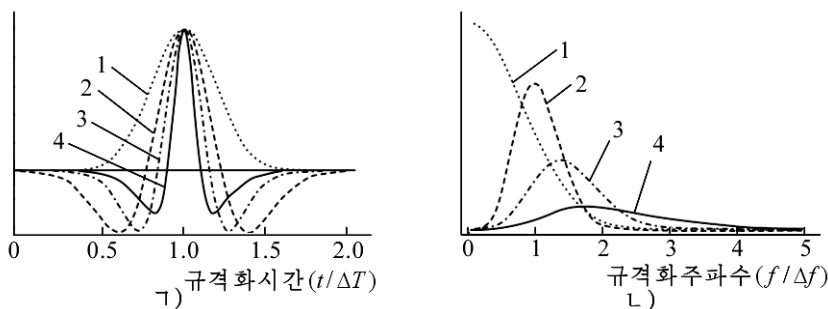


그림 2. 가우스신호의 파형(τ)과 그것의 출력스펙트르(\mathcal{L})

1- $\alpha=0$ 일 때, 2- $\alpha=0.75$ 일 때, 3- $\alpha=1.5$ 일 때, 4- $\alpha=3$ 일 때

이제 식 (5)에 주어진 가우스신호가 그림 1의 직각배열에 의하여 복사된다고 하자.

그러면 점 $P(r, \theta, \varphi)$ 에서의 파 $S(t, r, \theta, \varphi)$ 는 배열의 요소들로부터 복사된 가우스 신호들의 합이다. 즉

$$S(t, r, \theta, \varphi) = \sum_{i=-m}^{+m} \sum_{j=-m}^{+m} \Omega(t - \tau_{ij}(r, \theta, \varphi)). \quad (9)$$

여기서 $\tau_{ij}(r, \theta, \varphi) = t_{ij} + l_{ij}(r, \theta, \varphi)/c$ 는 Q_{ij} 요소로부터 복사된 가우스신호의 총지연시간이다.

한편 D, L, r 를 다음과 같이 규격화하자.

$$\rho = D/c\Delta T, \quad \xi = L/c\Delta T, \quad \zeta = r/c\Delta T \quad (10)$$

여기서 ρ 는 규격화된 평면배열의 크기, ξ 는 규격화된 배열의 초점거리, ζ 는 Q_{00} 으로부터 $P(r, \theta, \varphi)$ 까지의 규격화된 기준거리이다.

그러면 총지연시간 $\tau_{ij}(r, \theta, \varphi)$ 를 다음과 같은 규격화된 관계식으로 쓸수 있다.

$$\begin{aligned} \tau'_{ij}(\zeta, \theta, \varphi) &= \tau_{ij}(r, \theta, \varphi)/\Delta T = \xi + \rho[(\zeta/\rho)^2 - \\ &- 2(\zeta/\rho)((i/2m)\sin\varphi\cos\theta + (j/2m)\sin\theta) + (i/2m)^2 + \\ &+ (j/2m)^2]^{1/2} - \rho[(i/2m)^2 + (j/2m)^2 + (\xi/\rho)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (11)$$

결국 식 (9)를 다음과 같이 쓸수 있다.

$$S(t, \zeta, \theta, \varphi) = \sum_{i=-m}^{+m} \sum_{j=-m}^{+m} \Omega(t - \tau'_{ij}(\xi, \theta, \varphi)\Delta T) \quad (12)$$

$\theta = \varphi = 0^\circ$ 일 때 초광대역임펄스신호 $S(t, \zeta)$ 는 다음과 같다.

$$S(t, \zeta) = \sum_{i=-m}^{+m} \sum_{j=-m}^{+m} \sum_{k=0}^1 E_0 I_k \exp\{-a_k[(t-t_0)/\Delta T - \tau'(\zeta)]^2\} \quad (13)$$

여기서

$$\begin{aligned} \tau'(\zeta) &= \xi + \rho\{[(i/2m)^2 + (j/2m)^2 + (\zeta/\rho)^2]^{1/2} - \\ &- [(i/2m)^2 + (j/2m)^2 + (\xi/\rho)^2]^{1/2}\} \end{aligned} \quad (14)$$

이다.

요소수가 많은 배열($m \gg 1$)에 대하여 식 (12)를 다음과 같이 바꾸어 쓸수 있다.

$$S(t, \zeta, \theta, \varphi) = (2m)^2 \int_{-1/2}^{+1/2} \int_{-1/2}^{+1/2} \Omega(t - \tau'_{uv}(\zeta, \theta, \varphi)\Delta T) dudv \quad (15)$$

여기서

$$\begin{aligned} \tau'_{uv}(\zeta, \theta, \varphi) &= \xi + \rho[(\zeta/\rho)^2 - 2(\zeta/\rho)(u\sin\varphi\cos\theta + v\sin\theta) + u^2 + v^2]^{1/2} - \\ &- \rho[u^2 + v^2 + (\xi/\rho)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (16)$$

이며 $u = (i/2m)$, $-1/2 \leq u \leq +1/2$, $v = (j/2m)$, $-1/2 \leq v \leq +1/2$ 이다.

그림 3의 ㄱ)와 ㄴ)에 식 (13)에 의하여 얻어지는 배열축($\theta = \varphi = 0^\circ$)에서의 파형 $S(t, \zeta)$ 를 보여주었다.

한편 그림 4의 ㄱ)와 ㄴ)에 식 (12)에 의하여 얻어진 배열축으로 벗어난 2개의 점에서의 파형 $S(t, \zeta, \theta, \varphi)$ 를 보여주었다.

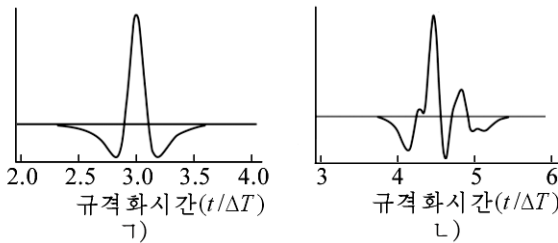


그림 3. 배열축에서의 파형

ㄱ) $S(t, \zeta = \xi, \theta = 0^\circ, \varphi = 0^\circ)$ 일 때,

ㄴ) $S(t, \zeta = 2\xi, \theta = 0^\circ, \varphi = 0^\circ)$ 일 때

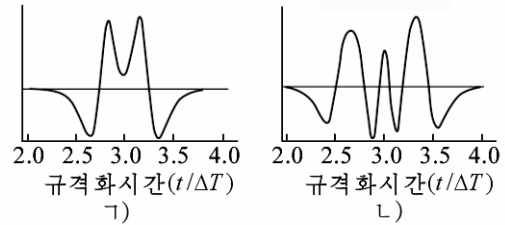


그림 4. 배열축에서 벗어난 위치에서의 파형

ㄱ) $S(t, \zeta = \xi, \theta = 0^\circ, \varphi = 8^\circ)$ 일 때,

ㄴ) $S(t, \zeta = \xi, \theta = 16^\circ, \varphi = 0^\circ)$ 일 때

그림 3과 4의 파형들은 요소수가 5×5 , $\rho = 5$, $\xi = 2$ 인 직각배열인 경우에 얻어진 것이며 매 배열요소들로부터 복사되는 초광대역신호는 $t_0/\Delta T = 1, \rho = 5, \alpha = 3$ 인 가우스임펄스신호이다. 그림 3과 4로부터 배열축에서의 초점 $\zeta = \xi$ 에서 파형은 복사된 가우스임펄스신호와 모양이 꼭 같으며 진폭이 제일 크다는것을 알수 있다. 또한 초점밖에서의 파형은 이지러지며 위치에 따라 그 모양이 서로 다르다는것을 알수 있다. 결국 파형은 위치에 대한 정보를 가지고있다. 파형이지러짐은 단일한 조화파인 경우 생기지 않는다. 그것은 같은 주파수를 가진 조화파의 합으로써는 진폭과 위상만이 변하고 주파수는 변할수 없기때문이다.

맺 는 말

초광대역배열요소들로부터 복사되는 신호들은 합성되어 복사방향의 각이한 위치들에서 서로 다른 파형을 형성한다는것을 밝혔으며 이에 기초하여 위치탐지의 가능성을 제기하였다.

참 고 문 헌

- [1] I. Ya. Immoreev; Journal of Communications Technology and Electronics, 54, 1, 1, 2009.
- [2] M. Malanowski; IET Proceedings of Radar Sonar Navigation, 6, 8, 739, 2012.
- [3] 潘亚峰 等; 强激光与粒子束, 7, 1224, 2006.

주체106(2017)년 6월 5일 원고접수

Study on Radiation Characteristics of Ultra-Wideband Array

Jong Won Chol, Ri Yong Myong

We demonstrated that the signals radiated from ultra-wideband array elements generated different waveforms at the different observation point of radiating direction. Based on this result, we suggest the probability of position detection.

Key words: ultra-wideband, radiation pattern