

통신용 형상 적응형 능동 위상 배열 안테나 설계 기술

I. 서론

현재까지 주로 지상 통신망과 위성 통신망으로 발전된 군통신망의 한계점을 극복하기 위하여 최근 공중 통신계층에서의 통신망 구축에 대한 관심이 증가하고 있다. 원활한 공중네트워크 구성을 위하여 기동형 플랫폼에 탑재될 무선 통신장비의 경우, 고속 무선 통신 링크기능을 제공하는 동시에 플랫폼의 기동성에 영향을 주지 않아야 한다. 또한 최근 스텔스 기능에 대한 요구도가 증가됨에 따라 적 레이더 피탐율을 최소화 할 수 있는 형상을 가지는 통신용 안테나 개발이 시급히 요구되고 있다.

일반적으로 사용되는 기동형 플랫폼용 안테나는 장거리 고속 무선 통신 링크 구성에 필요한 고이득 광대역 방사특성을 확보하기 위하여

주로 반사경 형상을 가진다. 기동형 플랫폼에 반사경 안테나를 탑재하여 운용 시, 반사경 안테나의 좁은 빔폭으로 인하여 발생할 수 있는 통신 단절상황을 방지하기 위하여 기계적 구동부에 의한 안테나 빔 조향은 필수적으로 필요하다. 이러한 기계적 구동부를 포함한 반사경 안테나는 안테나 구동반경 확보를 위해 플랫폼 외부 돌출 형상으로 구현되어야 하기 때문에 기동형 플랫폼의 공기항력의 증가로 인한 기동성 저하를 초래한다. 또한 외부 돌출형 구조의 반사형 안테나



정진우
국방과학연구소



류지호
국방과학연구소



주태환
국방과학연구소



박일현
국방과학연구소



김기철
국방과학연구소



서종우
국방과학연구소



는 적 레이더 피탐율을 증가시키는 요인이 된다. 그러므로 기동성 향상과 적 레이더 피탐율 감소를 위해 전기적인 빔 조향이 가능한 플랫폼 표면 형상 적응형 안테나 개발이 필요하다. 능동 위상 배열 안테나는 기동형 플랫폼 표면에 형상 적응형으로 구현 가능할 뿐만 아니라, 전기적인 빔 조향방식을 사용함으로써 기계적 안테나 구동부를 제거할 수 있기 때문에 기동형 플랫폼용 탑재 안테나로 매우 적합하다.

본 논문에는 형상 적응형 능동 위상 배열 안테나 제작 시 고려해야 할 부분에 대하여 기술하고, 식별된 고려사항을 바탕으로 기동형 플랫폼에 탑재될 장거리 고속 무선통신용 능동위상 배열안테나의 설계방안에 대하여 소개한다.

II. 능동 위상 배열 안테나 제작 시 고려사항

1. 형상 적응형 안테나 구조

유·무인 항공기, 유도 무기 등의 플랫폼에 탑재되어 공기 항력 및 적 레이더 피탐율 감소시키며, 지상 기동형 플랫폼에 탑재되어 기동에 최적화된 특성을 얻기 위해 각 플랫폼의 형상에 적응된 안테나 형상이 요구된다.

〈그림 1〉은 단일 곡면의 형상에 적응형으로 배치된 배열 안테나의 개념도를 보여준다. 플랫폼 형상 적응형으로 배열 안테나의 방사소자가 배치될 경우, 각 방사소자에 입사되는 전파의 경로 차이가 발생하게 된다. 이는 각 방사소자의 위상 변화로 나타나게 되어 안테나 패턴 왜곡이



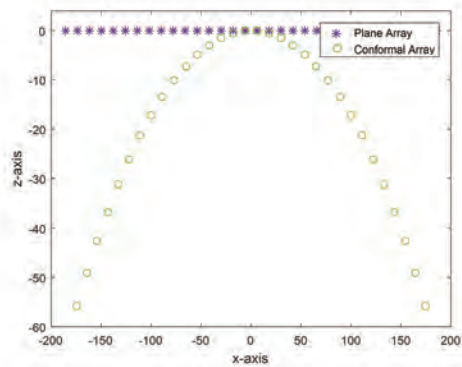
〈그림 1〉 형상 적응형 배열 안테나 개념도

발생하게 된다.^[1]

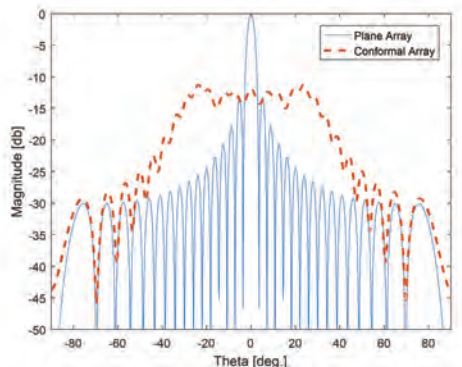
〈그림 2〉는 동일한 배열 구성의 안테나를 기반으로 평판형과 형상 적응형 구조에서 도출된 AF(Array Factor) 값을 보여준다. 〈그림 2〉에서 알 수 있듯이, 형상 적응형 방사소자 위치에 따라 패턴에 왜곡이 발생함을 알 수 있다. 결과적으로 형상 적응형으로 배열 안테나를 구성할 경우, 방사소자 장착 위치에 따른 전파 경로 차이를 고려해서 위상 천이값을 결정해야함을 알 수 있다.

2. 광대역 동작 빔 편이 현상

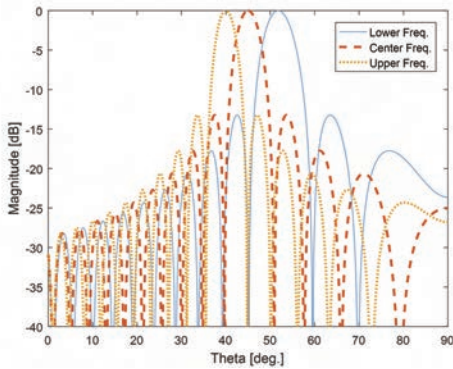
무선으로 대용량 데이터 송/수신을 위해서는 모뎀, RF 회로뿐만 아니라 안테나도 광대역 동작 성능이 요구된다. 위상 배열 안테나를 이용하여 원하는 방향으로 전기적 빔 조향을 위해서는 각 방사소자 별 각기 다른 위상을 가지는 신호를 급전해야 한다. 위상 배열 안테나는 방사소자 간 간격이 물리적으로는 고정되어 있으나 광대역 신호의 저주파 성분에는 대응되는 전기적 간격과, 광대역 신호의



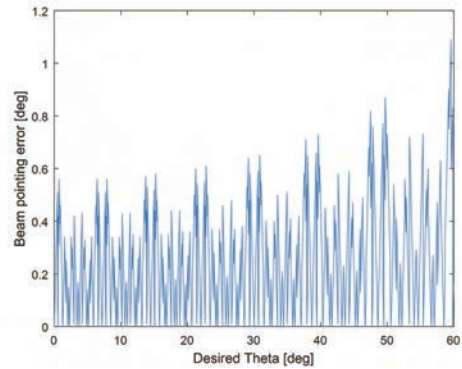
〈그림 2 (a)〉 방사소자 위치



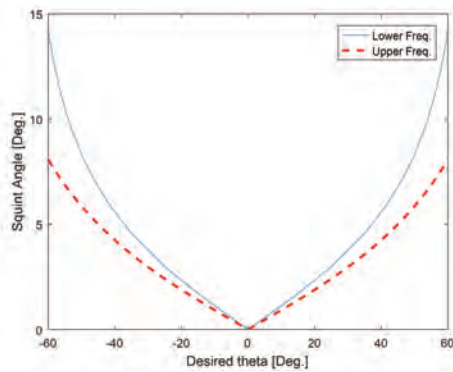
〈그림 2 (b)〉 방사소자 위치에 따른 AF



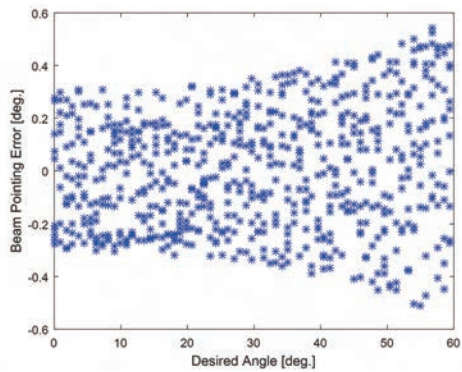
〈그림 3〉 일반적인 위상천이기에 따른 AF



〈그림 5〉 양자화 위상 천이값에 따른 빔 조향 오차



〈그림 4〉 요구 지향각에 따른 빔 편이 각



〈그림 6〉 경로 오차에 따른 빔 조향 오차

고주파 성분에 대응되는 전기적 간격이 상이하다. 따라서 주파수별 동일한 위상천이 값을 가지는 일반적인 위상 천이기로 광대역 신호를 능동 위상 배열 안테나의 각 방사 소자로 급전할 경우, 빔 편이 현상이 나타나게 된다.^[2]

〈그림 3〉은 일반적인 위상 천이기가 적용된 위상 배열 안테나의 빔 편이 현상을 보여준다. 상기 빔 편이 현상은 빔 조향 각과 비례하여 증가하게 된다. 입사 평면과 기준으로 빔 조향 각이 커질수록 방사소자 간 간격이 더 벌어지는 효과가 발생하기 때문이다. 〈그림 4〉는 빔 조향각에 따른 빔 편이 오차를 보여준다. 결과적으로, 대용량 정보 전송을 위한 광대역 동작 위상 배열 안테나의 경우, 주파수에 무관하게 동일한 위상 천이 값을 갖는 위상 천이기가 아닌 다른 방식의 위상 천이가 가능한 새로운 소자가 필요함을 알 수 있다.

3. 빔 조향 성능

기계적 구동부에 의한 빔 조향 성능은 기계적 구동부의 구동성능으로 평가할 수 있으나, 능동 위상 배열 안테나

를 이용한 전기적 빔 조향 성능은 아래에 기술된 값으로 평가될 수 있다.

- 위상 천이기 분해능에 따른 빔 조향 오차
- 각 방사소자 경로 차이에 따른 위상 천이 오차

능동 위상배열 안테나를 이용한 빔 조향을 위해서는 각 방사소자 별 각기 다른 위상을 가지는 신호를 급전해야 한다. 일반적으로 유한한 제어 Bit수로 구현되는 위상 천이기의 특성으로 인하여 정확한 빔조향을 위해 필요한 위상 천이값과 실제 양자화 되어 구현되는 위상 천이기의 위상 천이값의 차이로 인하여 빔 조향 오차가 발생하게 된다.^[3] 〈그림 5〉는 요구 빔 조향각을 기준으로 양자화된 위상 천이값으로 인하여 발생하는 빔 조향 오차각을 나타낸다. 빔 조향 오차각은 요구 빔 조향각과 양자화 위상 천이값을 적용했을 때의 실 지향각의 차이로 정의하였다.

능동 위상 배열 안테나의 각 방사소자의 급전 경로는 독립적으로 구성된다. 이에 따라 물리적으로 동일한 경로로 설계 및 제작했다고 하더라도, 구현 오차 등에 의해 독립적인 경로 오차가 필연적으로 발생하게 된다. 이와 같

은 각 방사소자의 급전 경로 오차는 급전 신호의 위상차를 발생시킨다. <그림 6>은 위상 경로 오차를 $\pm 30^\circ$ 로 가정하였을 경우, 요구 빔 조향각에 따른 빔 조향 오차를 보여준다.

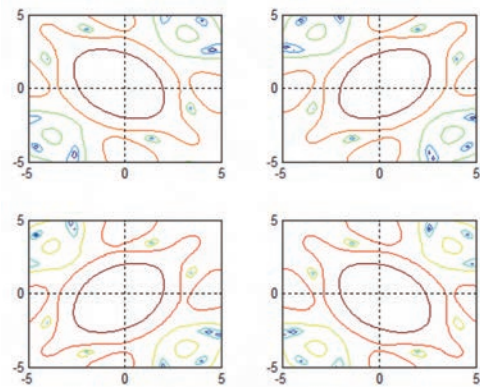
앞서 기술한 바와같이 요구 지향각에 대응한 요구 위상 천이값과 실제 위상 천이값이 다양한 원인에 의해 차이가 발생할 경우, 능동위상 배열 안테나의 빔 조향 오차가 발생한다. 따라서 이를 최소화하기 위한 연구, 구현 및 교정 방법이 필요하다.

4. 빔 추적 기능

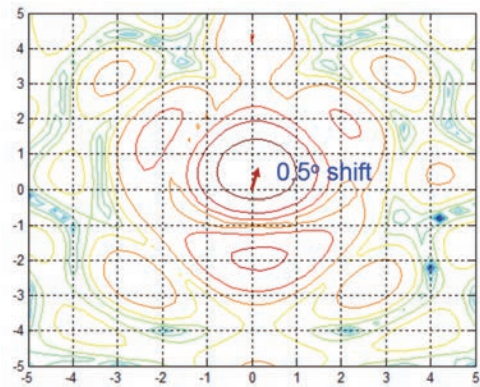
좁은 빔폭의 지향성 안테나를 사용한 장거리 무선 통신 링크 구성을 위해서는 장거리로 이격된 송/수신 안테나 간 지속적인 빔 추적 기능이 필요하다. 플랫폼의 위치 정보 및 자세 정보에 기반한 안테나 빔 지향 방법은 위치 및 자세정보를 획득하는 센서의 오차 등에 의해 빔 지향 정확도가 낮아지는 단점이 있다. 따라서 장거리로 이격된 안테나 간 정밀한 빔 지향을 위해서는 상대편 안테나에서 방사되는 전파신호를 기반으로 한 빔 추적 기능이 요구된다. 이러한 빔 추적 방법 중 추적 정확도가 높고, 추적 속도가 빠른 모노펄스(Monopulse) 추적 방법이 널리 사용된다.^[4]

모노펄스 추적 방법은 수신 안테나에서 다중 급전을 통해 형성된 서로 다른 빔의 크기 및 위상 신호를 바탕으로 멀리 이격된 송신 안테나의 방향을 추적하는 방법이다. 이러한 모노펄스 추적 방식을 능동 위상 배열 안테나에 적용하기 위해서는 위상 배열 안테나를 4개의 섹터로 분리한 후 각 섹터별 서로 다른 4개의 다중 빔을 생성하여 빔 추적에 이용하는 동시에, 4개의 다중 빔을 합성하여 형성된 1개의 통합된 빔을 생성하여 통신신호 수신에 사용해야 한다.

하지만 하나의 형상 적응형 위상 배열 안테나로 앞서 기술된 두 가지 형태(빔 추적 및 통신신호 수신)의 빔을 동시에 형성하고자할 경우, 형상 적응형 구조를 반영하기 위한 위상 천이값, 추적용 빔 형성에 필요한 위상 천이값 그리고 통신신호 수신용 빔 형성에 필요한 위상천이 값을 동시에 반영해야 하기 때문에 빔 편이 현상이 발생할 수



<그림 7 (a)> 모노펄스 추적을 위한 다중 빔



<그림 7 (b)> 다중 빔 합성에 의한 합 패턴

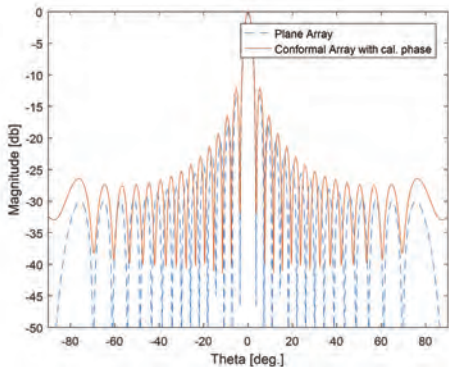
있다. <그림 7>은 형상 적응형 위상 배열 안테나의 다중 빔 및 합 신호의 등고 패턴을 보여준다. 형상 적응형 구조 적용에 따른 위상 천이값 설정에 따라 통신을 위한 합 신호의 패턴에 빔 편이 현상이 발생함을 알 수 있다.

형상 적응형 위상 배열 안테나를 이용한 모노펄스 추적 방법 구현 시 발생할 수 있는 빔 편이 현상에 의한 통신신호 감쇄현상은 극복되기 어려운 문제이기 때문에, 모노펄스 추적방법이 아닌 다른 추적방법(코니컬 스캔 등)을 사용하는 것이 보다 효율적이라 판단된다.

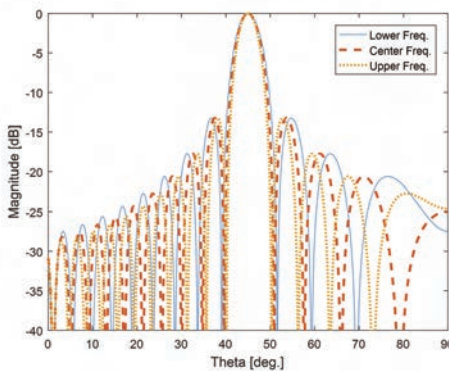
Ⅲ. 능동 위상 배열 안테나 구현 방안

1. 형상 적응형 안테나 구조

형상 적응형 위상 배열 안테나의 경우, <그림 2>와 같이 방사소자 위치에 따른 전파 경로차이에 의한 위상 차이로 방사패턴이 왜곡될 수 있음을 확인하였다. 형상 적응형으로 배치된 각 방사소자의 전파경로 오차는 정해진



〈그림 8〉 전파 경로 오차 보상 AF



〈그림 9〉 실 시간 지연 PS0에 의한 AF

위치에 따라 발생하는 위상 천이값을 보상하면 해소될 수 있다. 이는 형상 적응형 위상 배열 안테나의 전파 전파 방향 기준을 동일 위상 평면으로 구성하는 것과 동일한 원리이다. 형상 적응을 위한 방사소자 위치에 따른 각 방사소자의 위치 보상 위상 천이값은 다음 수식을 이용하여 산출할 수 있다.^[5]

$$\begin{aligned} \alpha_n^x &= \beta d_n^x \sin(\theta) \cos(\phi) \\ \alpha_n^y &= \beta d_n^y \sin(\theta) \sin(\phi) \\ \alpha_n^z &= \beta d_n^z \cos(\theta) \end{aligned} \quad (1)$$

〈그림 8〉은 〈그림 2〉와 같은 형상 적응 구조인 배열 안테나에 있어, 수식 (1)을 이용하여 전파 경로 오차 보정을 수행한 후의 형상 적응형 위상 배열 안테나의 패턴을 보여준다. 방사소자 위치에 따른 위상 보상 방법을 통해 원활한 빔 형성이 가능함을 알 수 있다.

2. 광대역 동작 빔 편이 성능

위상 배열 안테나의 전자적인 빔 조향 시 일반적인 위상 천이기를 사용할 경우, 주파수에 관계없이 동일한 위

상변화 값으로 인하여 빔 편이 현상이 발생함을 2장에서 확인하였다. 이러한 빔 편이 현상은 주파수별 동일한 위상천이 값을 주파수에 비례하는 위상천이 값으로 변환하면 제거된다. 주파수에 비례하는 위상천이 값은 실시간 시간지연(TTD : True Time Dealy) 소자를 이용하여 구현할 수 있다. 이와 같은 위상 천이 방법을 위한 위상 천이기를 실시간 지연 위상 천이기라 한다.^[6-7] 따라서 실시간 시간 지연 위상 천이기를 이용하여 빔 조향각에 따른 시간 지연값을 각 방사소자에 적용하면 빔 편이 현상이, 주파수에 관계없이 동일한 방향으로의 빔 조향이 가능하다. 〈그림 9〉와 같이 실시간 지연 위상 천이기로 위상 배열 안테나를 설계하면 〈그림 3〉에 나타난 일반적인 위상 천이기를 사용함으로써 발생된 동작 주파수 별 빔 편이 현상이 개선됨을 확인할 수 있다.

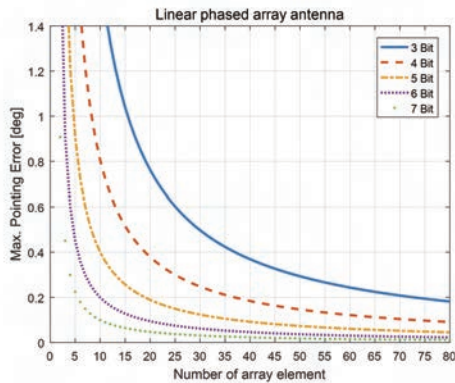
3. 빔 조향 성능

능동 위상 배열 안테나의 빔 조향 정확도 성능은 상기 기술된 바와 같이 위상 천이기의 양자화 오차와 각 방사소자 별로 독립적으로 구성된 경로의 오차에 의해 결정된다. 양자화 위상 천이값이 적용된 위상 배열 안테나의 빔 조향 각을 수식으로 표현하면 다음과 같다.^[3]

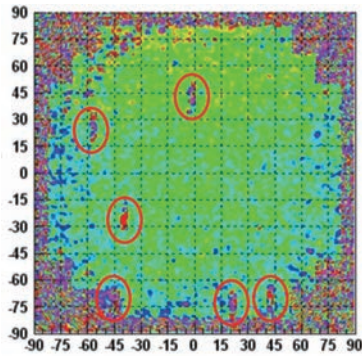
$$\theta_s = \arcsin\left(-\frac{\alpha + e_{\max}/(n-1)}{\beta d}\right) \quad (2)$$

여기서, ‘ α ’는 요구 빔 조향각을 위해 필요한 위상 천이 값이고, ‘ e_{\max} ’는 양자화 위상 천이에 의해 발생할 수 있는 최대 위상 오차이며, ‘ n ’은 위상 배열 안테나의 방사소자 배열 수이다. 수식 (2)에 나타난 바와 같이 위상 천이기의 제어 Bit 수를 증가시켜 양자화 위상 오차인 ‘ e_{\max} ’를 감소시키거나, 방사소자 배열 수인 ‘ n ’을 증가시켜 빔 조향 오차각인 ‘ θ_s ’를 줄일 수 있다. 〈그림 10〉은 수식 (2)에 나타난 방사소자 배열 수와 위상 천이기의 제어 Bit 수에 따른 빔 조향 오차를 나타낸다. 〈그림 10〉의 분석결과는 위상 천이기와 실시간 지연 위상 천이기에 모두 동일하게 적용될 수 있다.

위상 천이기의 제어 Bit 수를 증가시키기 위해 위상 천이기의 신호 경로 복잡도를 증가시키면 위상 천이기를



〈그림 10〉 PS 및 배열 수에 따른 빔 조향 오차



〈그림 11〉 근접전계 챔버를 이용한 전계분포

통과한 신호의 손실 값이 증대되는 문제점이 있기 때문에 능동형 위상 배열 안테나에 사용되는 위상 천이기의 제어 Bit수는 각 시스템의 성능을 만족시키는 범위 내에서 최소화될 필요성이 있다. 즉, 시스템에서 요구되는 안테나 이득으로 방사소자 개수가 결정되고, 시스템에서 요구되는 최대 빔 조향 오차 값인 θ_s 가 결정되면 이를 만족시키기 위하여 요구되는 위상 천이기의 최소 제어 Bit수는 아래 〈그림 10〉에 나타난 그래프를 통하여 도출될 수 있다.

빔 조향 오차를 일으키는 추가적인 요인은 능동 위상 배열 안테나의 각 방사소자별 서로 다른 급전 경로에 의한 위상 오차이다. 서로 다른 급전 경로에 의한 위상 오차는 능동 위상 배열 안테나 제작 시 필연적으로 나타나는 문제이다. 이러한 제작 상 발생하는 위상 오차는 능동 위상 배열 안테나 제작 후, 송/수신 시스템 레벨에서의 위상 교정을 통해 위상 오차 보상이 가능하다.

시스템 레벨에서의 위상 교정은 능동 위상 배열 안테나의 방사 개구면에서의 전계값을 기준으로 수행할 수 있

다. 능동위상 배열 안테나의 방사 개구면에서의 전계값은 무반향 챔버에서 근접 전계로 측정된 전계값을 능동 위상 배열 안테나의 방사 개구면에서의 전계값으로 변환함으로써 얻을 수 있다. 방사 개구면의 특정 지점에서의 전계값이 방사 개구면 상의 다른 지점과 상이하게 산출되면, 그 위치의 방사소자 경로를 검출하여 교정을 수행할 수 있다. 〈그림 11〉은 상기 원리를 이용하여 산출된 능동 위상 배열 안테나 개구면상 전계값을 나타낸다.

능동 위상 배열 안테나의 경로 위상 오차를 교정할 수 있는 또 다른 방법은 다변수 최적화 알고리즘을 사용하는 방법이다. 이는 경로에 따른 위상 오차가 없는 경우의 빔 패턴을 적합 함수(Fitness Function)로 사용하고, 각 방사소자의 경로 위상 오차가 반영되어 도출된 빔 패턴과의 차이를 비용 함수(Cost Function)로 설정하여, 비용 함수가 최소값을 가지도록 각 경로별 위상 천이 값을 최적화 하는 방법이다.

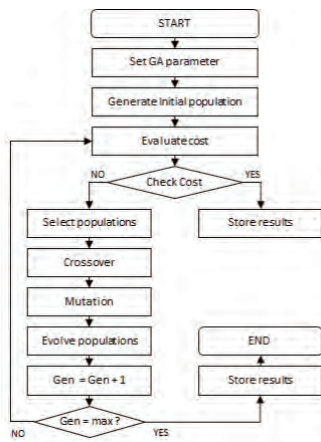
최적화를 수행하여 도출된 각 경로별 위상 천이 값과 적합함수를 위한 위상 천이 값의 차이가 경로에 따른 위상 오차 값이다. 최적화 알고리즘을 통해 도출된 경로에 따른 위상 오차 값을 구현된 안테나 시스템의 각 경로별 위상 값의 오프셋(Offset)값으로 반영하면 경로에 따른 위상 오차를 교정할 수 있다.

〈그림 12〉는 다변수 시스템의 최적화 알고리즘 중, 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)의 흐름도를 보여준다.^[8-9]

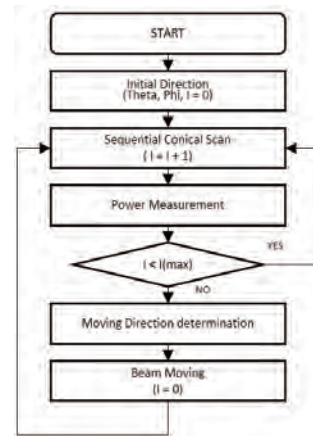
능동 위상 배열 안테나의 각 방사소자별 경로 오차에 따른 위상 교정은 실제 구현된 안테나 시스템 단위로 각각의 측정환경을 구축해야하는 어려움이 있지만, 능동 위상 배열 안테나의 빔 조향 오차를 최소화하기 위하여 이러한 위상 교정 절차는 반드시 필요하다.

4. 빔 추적 방법

형상 적응형 능동 위상 배열 안테나의 모노펄스 추적을 위해서는 방사소자의 위치에 따른 전파 경로 위상 보정과 함께 다중 빔 형성을 위한 위상 제어, 그리고 빔 조향을 위한 위상 제어가 동시에 수행되어야 한다. 따라서, 모노펄스 방식의 빔 추적의 경우 보정 및 제어를 위한 계산



〈그림 12〉 유전 알고리즘 흐름도



〈그림 13〉 코니컬 순차 스캔 흐름도

량 증가로 인해 통신을 위한 빔 형성의 복잡성이 증가하게 된다. 또한 형상 적응형 능동 위상 배열 안테나의 특성상, 다양한 위상 제어가 동시에 이루어질 경우, 원활한 모노펄스 추적을 위한 빔 형성에 어려움이 있다.

따라서 형상 적응형 능동 위상 배열 안테나를 이용한 전기적인 빔 추적은 단일 빔을 이용한 추적방법이 모노펄스 추적 방법보다 용이하다. 단일 빔을 이용한 추적방법으로는 코니컬 스캔(Conical Scan), 순차 로빙(Sequential Lobing) 등이 있다.^[4] 순차 로빙은 타겟 주변의 특정 지점을 순차적으로 이동하면서 측정 신호 세기가 큰 쪽으로 이동하는 방법이고, 코니컬 스캔은 타겟 주변을 원형으로 돌면서 측정 신호 세기가 큰 쪽으로 이동하는 방법이다. 코니컬 스캔방법은 순차 로빙보다 추적 정확도가 높은 장점이 있으나, 추적을 위한 방향 산출 속도가 느린 단점이 있다.

능동 위상 배열 안테나는 스위칭에 의한 위상 천이가 수행되기 때문에 연속적인 빔 조향이 어려운 단점이 있으나, 전자적인 스위칭으로 인한 신속한 빔 방향 변경 및 조향이 가능한 장점이 있다. 따라서 이와 같은 능동 위상 배열 안테나의 특징을 이용하여 코니컬 스캔과 순차 로빙 방법을 결합한 코니컬 순차 스캔 방법을 사용하면 원활한 빔 추적이 가능할 것으로 판단된다. 코니컬 순차 스캔 방법은 타겟 주변을 원형 배치의 특정 관측 지점을 관측하고, 순차적으로 스캔 한 후, 측정 신호 세기가 큰 방향으로 안테나 빔 조향 방향을 지속적으로 갱신하는 방법이다. 〈그림 13〉은 코니컬 순차 스캔의 흐름도를 보여준다.

본 논문에서 제시한 빔 추적 방법은 단편적인 하나의 예를 나타낸 것으로 형상 적응형 능동 위상 배열 안테나의 원활한 빔 추적을 위한 다양한 방법이 연구되어야 할 것으로 판단된다.

IV. 향후 연구 및 결론

기동형 플랫폼의 기동성 확보와 적 레이더로부터의 피탐을 감소를 위해 능동 위상 배열 안테나 기술에 대한 관심이 증가되고 있다. 그러나 전자적인 빔 조향을 수행하는 능동 위상 배열 안테나의 설계 및 제작을 위해서는 본 논문에서 언급한 바와 같이 여러 가지 사항들을 고려하여야 한다. 대표적인 예로 형상 적응형 구조를 고려한 초기 위상 천이 기능, 높은 전송속도를 위한 광대역 빔 조향 기능, 제작 시 발생할 수 있는 다양한 위상 오차를 극복할 수 있는 빔 조향 기능, 그리고 빔 추적 기능 등을 모두 고려한 설계가 수행되어야 한다.

본 논문에서는 능동 위상 배열 안테나 설계 중 고려해야 할 항목들을 식별하고, 각 항목별 극복 방안에 대해 제시하였다. 군사 무기 체계에 능동 위상 배열 안테나의 적용을 위해서는 더욱 다양한 연구를 통해 추가적인 고려사항을 식별해야 할 것으로 판단되며, 이를 위해 다양한 분야의 활발한 연구 활동이 필요하다고 판단된다.



참고 문헌

- [1] Lar Josefsson, Patrik Persson, "Conformal Array Antenna Theory and Design", Wiley IEEE Pres, 2006.
- [2] 서종우, 박재돈, 류지호, 정진우, 김동석, "광대역/광각 빔조향이 가능한 TTD 기반 SATCOM Ku-band SATCOM 위성 배열 안테나", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp1160-1162, 2016.
- [3] 정진우, 류지호, 박재돈, 서종우, "위상천이기 분해능에 따른 위성 배열 안테나 구성에 관한 연구", 한국군사과학기술학회 추계학술대회, pp. 693-694, 2016.
- [4] G. Richard Curry, "Radar System Performance Modeling", ARTECH HOUSE, INC, 2005.
- [5] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", A JOHN WILEY and SONS, 2005.
- [6] Matt Longbrake, "True Time-Delay Beamsteering for Radar", Aerospace and electronics conference, pp.246-249, 2012.
- [7] John G. Willms, Aziz Ouacha, Lex de Boer, Frank E. Vliet, "A Wideband GaAs 6-Bit True-Time Delay MMIC Employing On-Chip Digital Drivers, Microwave Conference, PP. 1-4, 2000.
- [8] J. H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems," University of Michigan Press, 1975.
- [9] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," Addison Wesley, 1989.



정진우

- 2005년 2월 전남대학교 정보통신 (학사)
- 2007년 2월 전남대학교 전자정보통신 (석사)
- 2011년 2월 전남대학교 전자컴퓨터 (박사)
- 2012년 4월~현재 국방과학연구소

<관심분야>
안테나



류지호

- 2004년 2월 경북대학교 (학사)
- 2006년 2월 서울대학교 (석사)
- 2013년 4월~현재 국방과학연구소

<관심분야>
DATA LINK 시스템 설계



주태환

- 2008년 2월 부산대학교 전기및전자공학부 (학사)
- 2010년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 (석사)
- 2014년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 (박사)
- 2014년 3월~2016년 4월 삼성 S. LSI 책임연구원
- 2016년 10월~현재 국방과학연구소

<관심분야>
데이터링크, RF Transceiver 설계



김기철

- 2007년 2월 영남대학교 (학사)
- 2011년 2월 광주과학기술원 (석사)
- 2016년 8월 한국과학기술원 (박사)
- 2007년 1월~2008년 11월 삼성탈레스 연구원
- 2016년 10월~현재 국방과학연구소

<관심분야>
RF 회로 및 전력 증폭기, 통신용 초고주파 기술



박일현

- 1978년 2월 경북대학교 (학사)
- 1995년 8월 충북대학교 (석사)
- 1978년 3월~현재 국방과학연구소

〈관심분야〉
RF 회로 및 안테나



서종우

- 2000년 2월 충남대학교 전파공학과 (학사)
- 2002년 2월 충남대학교 전파공학과 (석사)
- 2017년 2월 충남대학교 전파공학과 (박사)
- 2002년 1월~현재 국방과학연구소

〈관심분야〉
널링 안테나, 패턴합성 알고리즘, 컨포멀 안테나