

유전자 알고리즘을 이용한 Satellite Digital Audio Radio System Antennas 개발

김용진, 김상욱, 김진환, 이용근, 김영봉
인하공업전문대학 전기정보과

Design of a low-profile antenna for Satellite Digital Audio Radio Systems (SDARS)

Yongjin Kim, Sanguk Kim, Jinhwan Kim, Yonggeun Kim, Youngbong Kim
Department of Electrical Information, Inha Technical College

Abstract - The Design and Optimization of a low-profile antenna for the Satellite Digital Audio Radio System (SDARS) using a Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) is presented. a fairly omni-directional elevation gain pattern over $60 \text{ degrees} < \theta < 60 \text{ degrees}$ are obtained. The average value of the LCP gain pattern is approximately 2 dBic. The heights of the antennas are less than 0.25 l. The cross polarized signal level is approximately 12 dBic less than the co-polarized signal level.

1. 서 론

최근의 자동차 산업 분야에서는 새로운 자동차 안테나에 대한 요구가 급격히 늘어나고 있다. 이는 21세기 정보 및 통신 사회가 도래함에 따라 다양한 형태의 새로운 서비스가 자동차에 요구되어 지며, 이러한 새로운 시스템을 동작시키기 위한 안테나에 대한 관심이 계속 높아져 왔다. 가장 대표적인 것이 Global Positioning System (GPS), Satellite Digital Audio Radio System (SDARS), 지상파/위성 DMB 같은 서비스들이다. SDARS 서비스의 경우 미국에서는 이미 시작되었으며, CD 품질의 고음질의 음악을 비롯한 라디오 서비스를 넓은 가청 위치에서 구현하는 것을 그 목적으로 한다. 서비스의 시작과 발 맞춰서 SDARS 안테나 개발에 대한 요구도 늘어나고 있다. 통상 자동차 지붕에 부착되는 것이 보통이어서, ground plane 에 대한 우려는 없으나 자동차 미관에 최대한 도움이 되어야 한다. 따라서 가능한 안테나의 높이를 낮추는 형태에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘중의 하나인 Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) 을 이용하여, 낮은 높이를 가지는 SDARS 용 안테나를 제안하였다. 유전자 알고리즘을 이용한 안테나 개발은 이미 많은 연구가 진행 되어 있다 [1-4]. 또한 자동차 안테나에 대한 적용도 많은 성과를 보이고 있다 [5-6]. 본 논문에서는 하나의 싱글 solution space를 찾는 것이 아니라, pareto solution space를 찾음으로써 안테나 설계 및 제작자에게 보다 많은 안테나 solution space를 제공하고자 한다. pareto solution space는 요구되어지는 각각의 목적함수를 만족시키는 compromising된 solution space를 찾는 것을 말한다.

따라서, 본 논문에서 구해지는 solution space는 단 하나의 solution 이 아니라, 각각의 목적함수의 중요도에 따라서 안테나 설계 혹은 제작자가 선택할 수 있는 광범위한 solution space 가 찾아진다. 본 논문에서는 단일 feed 가 아닌 multiple feed를 사용하였다.

2. 본 론

NSGA를 이용한 안테나 설계에서 통상 4개의 디자인 parameter가 있다. 이는 동작 주파수(operating frequency),편파성(polarization), 이득패턴 (gain pattern), input impedance matching 이 있다. 더 나아가서는 안테나의 물리적/전기적 사이즈가 있다. 본 논문의 경우, 안테나의 물리적 높이가 중요하며, 3cm 이하의 높이를 목표로 하고 있다. 이득 패턴의 경우 omni-directional 한 패턴을 지향한다, 따라서, 위성으로부터 오는 signal 을 null space 없이 받도록 해야 한다.

2.1 Design Specification

SDARS 방송 시스템은 두 개의 주파수 대역을 사용하고 있다. 하나는 2332.5~2345MHz 인 XM 주파수 대역을 사용하고, 다른 하나는 2320~2332.5MHz 인 Sirius 주파수 대역을 사용한다. XM용 안테나의 경우 이득 기준은 elevation angle 30도에서 70도에서 평균 2dBic를 목표로 하며, Sirius antenna 의 경우 elevation angle 0도에서 65도 까지 평균 3dBic를 목표로 한다. 양쪽의 경우 모두 Left hand circular polarization (LHCP) 이며 upper hemisphere 평면 20도 이상을 목표로 한다. 안테나 크기의 경우 3cm 이하를 목표로 하고 있다. 본 논문의 경우 XM band 용 안테나 개발을 목표로 하고 있다.

2.2 NSGA 를 이용한 Design

2.2.1 Initial antenna geometry selections and constraints.

기본 안테나 구조 발생 과정 및 제한 사항은 그림 1. 에 나와 있다. 기본적으로 본 안테나는 4개의 날개로 구성되어 있다. 기본 구조 발생 과정 중 첫 번째 날개

의 발생과정은 그림 1의 설명에 나와 있다. 먼저, 안테나의 길이를 1cm - 5cm 중에서 랜덤하게 선택하고, 다음으로 각 다른 위치에서 다른 6개의 점을 (P1 - P6 그림 1.)을 선택한다. 그 다음은 각각의 점들 간의 connection을 wire로 만든다. 첫 번째 날개가 완료 되면, 다른 3개의 날개는 반시계 방향으로 90도 회전하면서 자동으로 발생되게 된다. 대체적인 날개 1의 모습은 그림 2.에 나와 있다. 15cm x 15cm의 PEC ground plane이 사용되었으며, 전체적인 안테나 모습의 예제그림은 그림 3.에 나와 있다. 소스 feed의 위치 또한 그림 2.에 나와 있다. 제안된 안테나의 소스는 4개이며, 각 각이 페이저 쉬프터를 사용하여 90도 만큼씩 차이를 두고 있다. 최대 높이는 3cm 이내로 제한되어 있다.

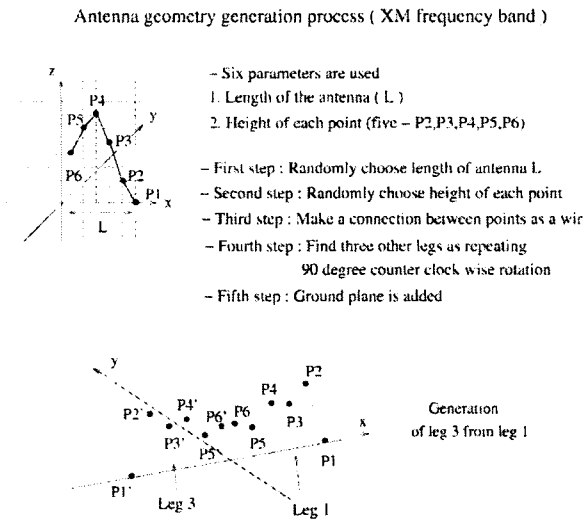


Fig 1. Geometry generation processes of the XM frequency band antenna
 그림 1 XM band 용 안테나 구조 발생 과정

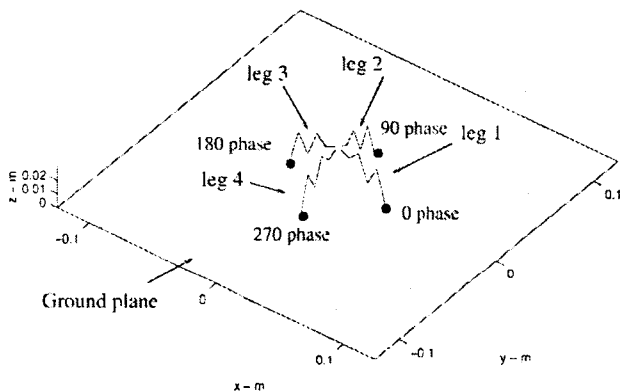


Fig 2. Example of four wings of the XM frequency band antenna
 그림 2 XM band 용 안테나 구조 예제

2.2.2. Design and Optimization Process

본 논문을 위한 GA simulation의 경우 2개의 cost function (목적함수)이 사용되었다. 2개의 목적함수의

공식은 표 1에 나와 있다. 목적함수 G1의 경우는 elevation angle을 140도 coverage 안에서 omnidirectional하게 구하고자 하는 목적함수이며, G2의 경우는 Voltage standing wave ratio (VSWR) 값을 취함으로써, input impedance를 50Ω에 matching하고자 하는 목적함수이다. 6 design parameter가 사용되었으며, GA를 위한 초기 population은 40개가 사용되었다. 총 computational 시간은 10시간이 걸렸다. 그림 3에는 20 generation이 지난 후의 20population이 나와 있다.

Table 1. The design objectives and cost functions for the XM antenna design

표 1. XM band 안테나를 위한 목적함수

	Objectives	Cost functions	Goals
G1	Omnidirectional elevation gain pattern	Initial $G1 \rightarrow 0$ For $\theta =$ from 0° to 65° if ($\text{Gain}_{dB}(\theta, \phi=0^\circ) > 0 \text{ dBic}$) $G1 = G1 - 1$ (subtraction) end if ($\text{Gain}_{dB}(\theta, \phi=90^\circ) > 0 \text{ dBic}$) $G1 = G1 - 1$ (subtraction) end end $G1 = G1 - 2 * \text{Gain}_{dB}(\theta=0^\circ, \phi=0^\circ)$ if ($\text{Gain}_{dB}(\theta=0^\circ, \phi=0^\circ) > 3 \text{ dBic}$) & ($\text{Gain}_{dB}(\theta=0^\circ, \phi=90^\circ) > 3 \text{ dBic}$)	Minimize
G2	VSWR	$G2 =$ value of VSWR at $f = 2.3 \text{ GHz}$	Minimize

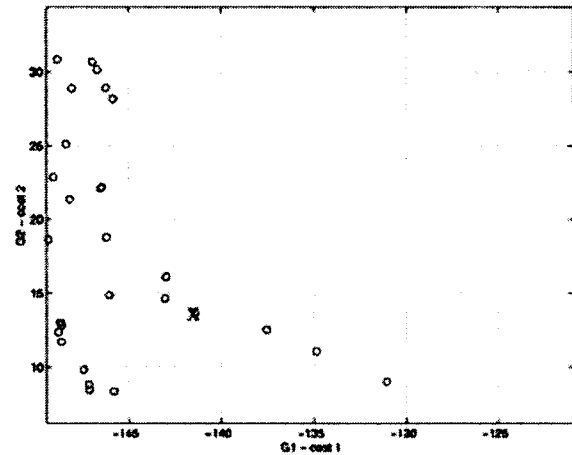


Fig. 3 Population at generation 20 obtained by NSGA-XM

frequency band antenna, $f = 2.3 \text{ GHz}$
 그림 3. NSGA 20 generation이 지난 후의 Population
 (타겟 주파수 - 2.3 GHz)

2.2.3. Designed and Optimized Antenna

그림 3에 나타낸 20 population 중에서 하나의 chromosome (X표시된 것) 이 XM band 용 4개의 날개를 가지는 하나의 예제 안테나로 선정되었다. 본 예제 안테나의 경우, G1 목적함수 값이 -141.54 이며, G2 목적함수 값이 13.42 이다. 본 안테나의 경우 상대적으로 낮은 목적함수 값을 가지며, G1, G2 목적함수가 좋은 다른 안테나들에 비해서 상대적으로 물리적으로 구현하기 좋은 형상을 가졌다.

선택된 안테나의 구체적 구조는 그림 4에 나와 있다. 안테나의 높이는 2.0 cm (대략 0.145 λ at 2.3 GHz) 이며, 총 안테나 길이는 9.6 cm 이다. 그림 5에는 $f = 0$ 도, $f = 90$ 도 에서의 elevation 이득 패턴이 보인다. LHCP 의 경우 대략 평균이득은 2dBic 를 보이며 패턴 또한 upper-half plane에서 대략적으로 omni-directional 한 패턴을 보인다. Cross-polarization (RHCP) 의 경우 훌륭하게 suppress 된 결과도 확인된다. (LHCP 와 비교하여 대략 -10 dBic 정도 suppress 됨)

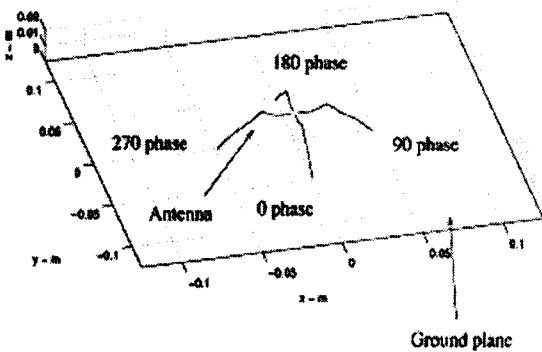


Fig. 4. Selected XM frequency band antenna ($f = 2.3$ GHz)
그림 4. 선택된 XM 주파수 대역의 SDARS 안테나 (동작 주파수 2.3 GHz)

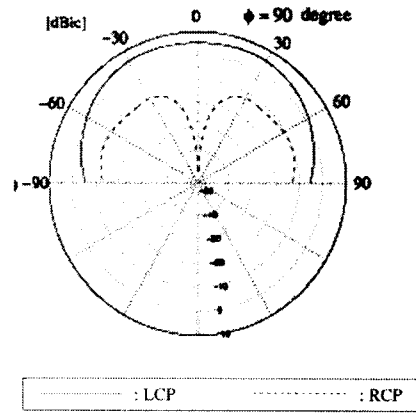
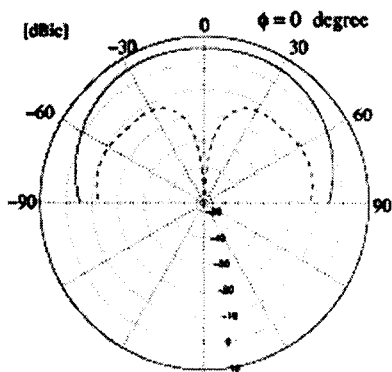


Fig. 5 Elevation gain pattern at $\phi = 0, 90$ degrees, selected XM band antenna, $f = 2.3$ GHz
그림 5. 선택된 XM band 안테나의 0, 90 도 에서의 elevation gain 패턴

2.2.4. Measurement of the Designed and Optimized Antenna

앞 절에서 선택된 안테나의 simulation 결과 및 안테나 구조에 대하여 설명 하였다. 본 부분에서는 제안된 안테나 (그림 4 에 보여진 안테나) 를 직접 제작 하여 측정 함으로써, 그 결과를 비교하고자 한다. 안테나 측정을 위한 프로토 타입 (prototype) 안테나는 metal wire 와 metal ground plane 으로 구성되어 있으며, 4개의 날개 형태로 구성되어 있다. 안테나의 높이는 2.0 cm 이다. 제작된 프로토 안테나의 사진은 그림 6 에 나와 있다.

Selected XM frequency band antenna for measurement (four leg case)

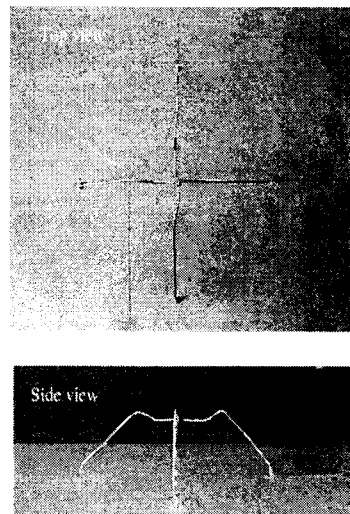


Fig. 5. Prototype of the selected XM frequency band antenna

그림 5. 제안된 XM 주파수 대역의 프로토 타입 안테나

안테나의 이득은 실외의 open field에서 측정 되었으며, Network analyzer를 페이저 슈프터와 함께 이용하여 측정하였다. 측정 주파수 대역과 elevation angle 에 관한 이득 profile 이 그림 6. 에 나와 있다. 이때의 azimuthal

angle 은 0도 이다. 이 이득 profile 그림은 소스 안테나의 경우 vertically polarized horn 안테나가 사용되었으며, data processing 이 되지 않은 raw data set 이다.

3. 결 론

본 논문에서는 XM band 용 안테나를 NSGA 를 사용하여 설계 하는 방법을 소개 했으며, 이것의 안테나 sample 을 제작 측정하여, 시뮬레이션 결과와 유사함을 보였다. 안테나 이득 패턴은 upper-half plane에서 fairly omni-directional 한 패턴을 보였으며, LHCP 인 경우의 안테나 이득은 평균 2dBic 였다 (-60 도에서 +60 도 구간). 안테나의 높이는 2cm (0.25λ) 였다. 본 NSGA 를 이용한 설계 방식의 경우, 안테나 설계자에게 보다 많은 가능성 있는 안테나 기본구조를 제안함으로써, 안테나 설계자의 초기화 작업 및 많은 시행착오의 시간을 줄일 수 있다.

Elevation gain profile - Selected XM frequency band antenna (four leg case)

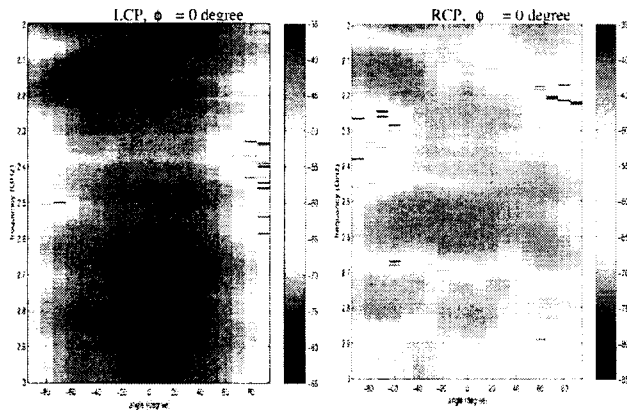


Fig. 6 Profile of the elevation gain pattern, raw data set, LCP and RCP, Prototype of the XM frequency band antenna

그림 6. elevation 각도에 대한 이득 profile, raw data set, XM band 용 프로토타입 안테나

그림 6. 을 보면 공진 주파수 대역인 2.3 GHz에서 이득 패턴이 보다 확장되어 있으며, 또한, 2.8 - 2.9 GHz 대역에서도 이득 broad 하게 나옴을 알 수 있다.

Elevation angle 이득 패턴 그림은 dBic scale 로 변환되어 그림 7. 에 보였다. Co-polarization (LHCP) 인 경우와 cross-polarization (RHCP) 인 경우가 함께 나타나 있다. LHCP인 이득패턴의 경우 상당히 omni-directional 한 이득 패턴을 보이며, 평균이득의 경우 -60 도에서 +60 도 coverage 안에서 약 2 dBic 정도의 값을 보인다. RHCP 의 경우, LHCP 와 비교해서 약 -12dBic 낮은 이득 값을 가진다. 위의 측정치 및 이득 패턴은 앞의 simulation 결과와 비교해서 상당히 근사한 결과를 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Daniel S. Weile and Eric Michielssen, "Genetic Algorithm Optimization Applied to Electromagnetics: A Review," *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. 45, pp 993-999, July 1994.
- [2] Anona Boag, Amir Boag, Eric Michielssen and Raj Mittra, "Design of electrically loaded wire antennas using Genetic Algorithm," *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. 44, pp 687-695, May 1996.
- [3] Zwi Altman, Raj Mittra and Alona Boag, "New design of UWB communication antennas using a Genetic Algorithm," *IEEE Trans. Antennas Prop.*, vol. 45, pp1494-1501, October 1997
- [4] Derek S. Linden, "Wire antenna optimized in the presence of satellite structures using Genetic Algorithm," *Proceedings of the 2000 IEEE Radio and Wireless Conference*, pp. 91 - 99, 2000.
- [5] Eric K. Walton, Ming Lee, and Yongjin Kim, "Design and Testing of Satellite Digital Audio Radio System (SDARS) Antennas," Rep. 741022-2, Electrosci Lab., Ohio State University, Columbus, OH, August 2002.
- [6] Wladimiro Villarroel, "Automated Design and Optimization of VHF/UHF Automotive Conformal Antennas," Ph.D. Dissertation, The Ohio State University, Columbus, OH, 2002.

Elevation gain pattern - Selected XM frequency band antenna (four leg case)

