UWB 하반 대역 WVAN Gbps 데이터 전송률 트랜시버용 소형 광대역 안테나의 설계

Compact Antenna Design for the UWB Lower Half-Band WVAN Gbps Data-Rate Transceiver

엄다정 · 임동진 · 강승택 · 이승식* · 최상성*

Dajeong Eom · Dongjin Lim · Sungtek Kahng · Seung-sik Lee* · Sangsung Choi*

요 약

본 논문에서는 UWB 하반 대역의 WVAN Gbps 데이터 전송률 트랜시버용 소형 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 광대역 특성을 얻기 위하여 부분 접지면 상에서 사각형 모노폴에 링형 스텐드와 개방 스텐드를 부착하여 다수의 공진 전류 경로를 가짐으로써 -10 dB 이하 반사 손실 영역을 넓혔다. 설계된 안테나는 전자기 모의시뮬을 거쳐 제작되었고, UWB 하반 대역인 $3.197 \sim 4.732$ GHz에서 -10 dB 이하의 반사 손실과 5 dBi 이상의 안테나 이득과 80% 이상의 효율 특성을 보였다. 따라서 제작된 안테나는 소형화는 물론 우수한 성능의 무선 통신 트랜시버용으로 적합한 것으로 판단된다.

Abstract

In this paper, a compact antenna is designed for the UWB lower half-band WVAN Gbps data-rate transceiver. The proposed antenna broadens the bandwidth less than -10 dB by placing the ring stubs and an open stub on the rectangular monopole above the partial ground and creating multiple resonant current paths. The designed antenna goes through the electromagnetic simulation and is fabricated and the implemented antenna has the characteristics of the return loss lower than -10 dB, the antenna gain greater than 5 dBi, and the efficiency over 80% in the UWB lower half-band ranging from 3.197 GHz to 4.732 GHz. Therefore, it is thought that the proposed antenna is suitable for the size-reduced and excellently performing wireless communication transceiver.

Key words : Wide-Band Antenna, Size-Reduced Antenna, Planar Antenna

I. 서 론

최근 무선 비디오 공유와 같은 홈 네트워킹과 WVAN(Wireless Video Area Network)의 구현을 위해 광대역 무선 통신망 기술의 필요성이 증가하고 있

다. 이와 함께 $3.1 \sim 10.6$ GHz의 주파수 범위에서 UWB 전체 대역이나 하반 대역($3.19 \sim 5.4$ GHz)의 무선 통신이 가능한 시스템과 구성 부품에 대한 연구가 수행되어 왔으며, 특히 WVAN용 무선 WiX 기술에서는 UWB 하반 대역 1~3번 채널을 통해 Gbps

「본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)[K1002087, Wireless Video Area Network 구축을 위한 지능형 WiX 시스템 개발] 연구 사업의 일환으로 수행하였음.」

인천대학교 정보통신공학과(Department of Information and Telecommunication Engineering, University of Incheon)

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunication Research Institute)

· Manuscript received September 22, 2011 ; Revised December 5, 2011 ; Accepted December 29, 2011. (ID No. 20110922-03S)

· Corresponding Author : Sungtek Kahng (e-mail : s-kahng@incheon.ac.kr)

급 데이터 전송 속도를 목표로 하여 상당히 높은 난이도의 설계기술을 요구한다^[1]. UWB 무선 통신 시스템에서 모뎀 기술이나 기저 대역 모듈도 중요하지만, 광대역의 초고주파 부품과 안테나가 핵심이라 할 수 있다. 이런 맥락에서 전통적인 안테나 설계법이 가지는 협대역 특성을 극복하여 광대역 상에서 전자기파를 방사할 수 기술들이 소개되어왔다^{[2]~[8]}. 다수의 공진 주파수를 갖기 위해서는 안테나의 폭이 크거나 테이퍼 형식이어야 하는데, 이상적으로 UWB 안테나는 3차원의 모습을 띄고 있다^{[2],[3]}. 그런데, 소형화의 관점에서 많은 부피를 차지하는 3차원 구조 대신 주파수별 공진을 위한 평면 테이퍼형 구조들이 소개되었다^{[4]~[6]}. K. Rambabu 등은 급전부로부터 계단형으로 폭을 키우다가 감소하는 길이의 수평 개방 스테르브들을 연결하는 다른 방법을 제시하였다^[7]. UWB에서 부분 접지면 상의 마이크로스트립 구조 모노폴 대신 자주 사용하는 코플래너 웨이브가이드(CPW)에 삼각형 방사체를 연결하고, 그 양쪽에 개방형 스테르브들을 두어 협대역과 광대역이 공존하는 구조가 제안되기도 하였다^[8].

본 논문에서는 UWB 하반 대역 내의 채널 1~3의 주파수 범위에서 반사 손실이 -10 dB 이하로서 평탄한 특성을 갖는 평면형 광대역의 설계법을 제시한다. 부분 접지면 상의 직사각형 모노폴 구조에 링 구조의 스테르브와 개방 스테르브를 결합하여 WGAN Gbps 데이터 전송 트랜시버의 소형화에 적합하다. 제안된 안테나의 특성은 구조, 반사 손실, 빔 패턴, 이득, 효율이 모의 실험과 측정을 통해 나타내었다.

II. 제안하는 안테나 구조 및 설계 과정

2-1 설계 목표와 안테나의 구조

설계 목표는 다음의 표 1과 같이 정리된다.

표 1. 설계 목표

Table 1. Design specifications.

항목	목표치
중심 주파수	3.96 GHz
대역폭	1.53 GHz
이득	> 2 dB
효율	> 70 %

그림 1. 제안된 평면 UWB 하반 대역 안테나

Fig. 1. Proposed planar UWB lower half-band antenna.

제안된 안테나는 그림 1과 같이 부분 접지면 위에 있는 사각형 모노폴에 두 개의 링형 스테르브와 한 개의 개방형 스테르브를 부착한 구조이다. 일반적인 사각 패치 안테나는 반사 손실에서 하모닉 발생 전까지는 하나의 공진점만 만들며 협대역으로 나타난다. 또한, 모노폴이 주된 전자파 방사를 한다면 공진 길이는 $\lambda_g/4$ 이므로 안테나의 소형화에도 한계가 있다.

이러한 모노폴의 단순한 형상과 크기를 유지하면서 넓은 대역폭을 가질 수 있도록, 모노폴에 스테르브들을 독특한 방식으로 결합하는 방법을 제시한다. 그림 1을 보면, 제안된 안테나는 좌측 상단과 우측 중앙에 링형 스테르브를, 좌측 하단에 개방 스테르브를 부착함으로써, 설계 목표인 표 1에 나타나 있듯이 일반 모노폴 안테나의 공진 주파수보다 높은 주파수에서 -10 dB 이하 반사 손실의 공진점을 발생시켜 대역폭을 넓히는 것이다. 미리 안테나의 크기와 기판에 대해 언급하자면, $20 \times 27.5 \times 1$ mm³이며, 기판은 0.002의 손실 탄젠트를 갖는 유전 상수 4.4의 TMM4를 사용한다.

2-2 기하학적 파라미터 변화와 특성 관찰

일반적으로 모노폴 안테나는 윗면에 방사체와 급전부가 위치해 있고, 아랫면에 부분 접지면이 존재하는 구조이다. 이를 그림 2에 도시하였다.

부분 접지면 상의 평면형 모노폴 안테나의 크기는 $20 \times 27.5 \times 1$ mm³이며, 손실 탄젠트가 0.002이고, 상대 유전율이 4.4인 TMM4 위에 설계하였으며, 이때의 주파수 특성은 그림 3과 같다.

그림 2. 부분 접지면 위의 사각형 모노폴 구조
Fig. 2. Rectangular monopole above the partial ground.

그림 3. 부분 접지면 상의 직각형 모노폴 안테나의 반사 손실
Fig. 3. Return loss of the rectangular monopole antenna over the partial ground.

그림 3에서 보듯이, 중심 주파수 3.96 GHz에서 1.53 GHz의 대역폭을 가지는 UWB 하반 대역이 생성된다. 비록 대역폭은 만족하지만 공진점이 하나이고 대역내 평탄도가 없어, 환경이나 제작 공차에 의해 주파수가 이동하게 되면 현재의 중심 주파수를 많이 벗어날 가능성이 있다. 대역 평탄도를 확보하기 위해 일련의 파라미터들을 변화시켜 S_{11} 을 관찰한다. 먼저, 부분 접지면 위의 사각형 모노폴 방사체의 길이인 l_1 을 변화시킨다.

이와 같은 경우,

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (1)$$

의 수식에 의하여 사각형 모노폴의 길이가 짧아질수록 공진하는 극점의 주파수가 상승하는 것을 확인할

그림 4. 변수 l_1 길이 변화에 따른 S_{11} 특성
Fig. 4. S_{11} vs. varied l_1 .

(a) 사각형 모노폴에 개방 스틱브의 부착
(a) An open stub attached to the rectangular monopole

(b) 변수 l_2 길이의 변화에 따른 반사 손실 특성
(b) S_{11} vs. varied l_2

그림 5. 단일 개방 스틱브를 결합한 평면형 모노폴 안테나와 l_2 변화에 따른 S_{11} 특성

Fig. 5. An open stub attached to the rectangular monopole and S_{11} vs. varied l_2 .

수 있다. 하지만 l_1 의 변화에 따라 공진점의 위치는 변화하나, 공진점의 수가 변하지는 않는다.

대역은 유지하면서 공진점들의 수를 증가시키는 방법의 일환으로 좌측 아래에 개방 스테르브를 부착하면 그림 5와 같이 된다.

급전부에서 사각형 모노폴 안테나의 좌측 하단에 부착된 역 L자 형태의 개방 스테르브까지 짧은 공진경로(4.7 GHz 부근)가 생겨, 모노폴 전체에 의한 3.6 GHz 부근의 기존 공진점과 함께 두 개의 공진을 만들어 그림 4와 비교하여 S_{11} 대역이 평탄해졌다. 특히 개방 스테르브의 길이가 길어질수록 급전부로부터 개방 스테르브의 종단까지의 전기적 길이가 길어지기 때문에, 공진하는 주파수가 낮아지게 된다. 또한, 개방 스테르브에 의한 공진점과 낮은 공진점의 결합도에 변화가 생겨 대역폭 역시 변화하게 된다. 즉, 안테나 전체적인 정합에 변화가 생기게 된다.

그림 5에서 두 개의 극점(공진점)들이 있지만 모노폴 안테나의 기본 공진 주파수가 3.6 GHz 부근이므로 스펙의 대역을 맞추기 위해 3.5 GHz 아래로 이동시켜야 한다.

대역 평탄도를 얻었지만 주파수 대역을 낮은 주파수로 이동시키기 위해서는 모노폴의 물리적 길이보다 더 긴 공진 전류의 경로가 필요하다. 따라서 사각형 모노폴에 개방 스테르브와 링형 스테르브가 부착하여 전류 경로와 임피던스 정합을 다룰 수 있는 설계 변수를 확보한다. 그림 6(a)는 그림 1과 같은 것이며, 설계변수들이 명명된 것이다. 여러 가지 물리적 치수가 있지만 공진 전류 경로에 영향이 큰 w_3 , w_4 와 gnd_11 에 대해 살펴본다.

그림 6(b)는 링형 스테르브의 너비인 w_3 의 변화에 따른 반사 손실의 주파수 특성을 나타내었다. 링형 스테르브를 결합하면 전류의 길이가 확장되고 공진하는 주파수가 내려가며 임피던스 정합 영역이 넓어져 의해 대역폭이 증가하게 된다. 반면에 링형 스테르브의 너비가 짧으면 공진하는 주파수의 대역이 높아지고, 이때의 대역폭이 좁아지는 것을 알 수 있다. 위의 특성을 이용하여 링형 스테르브를 추가함으로써 기본 사각형 모노폴의 길이를 변화하지 않고도 첫 번째 극점의 위치를 3.75 GHz에서 3.4 GHz로 350 MHz만큼 내리며 대역 내에서의 평탄도를 유지할 수 있다.

w_3 와 반대 방향에 놓인 w_4 에 의한 입력 반사 손실의 관계는 그림 6(c)를 통해 파악할 수 있다. w_3 의 변화에 따른 결과와 유사하게, w_4 가 커질수록 전류의

길이가 확장되고 공진하는 주파수가 내려가며, 대역폭이 증가하게 된다. 반면에 링형 스테르브의 너비가 짧으면 공진하는 주파수의 대역이 높아지고, 대역폭이 좁아지는 것을 알 수 있다.

위의 특성을 이용하여 공진하는 주파수와 이때의 대역폭을 제어할 수 있다. 더 나아가 안테나의 최적 성능을 위해, 접지부의 파라미터를 변화하면서 반사 손실의 주파수 특성을 확인한다. 이때의 모의시험 결과는 그림 6(d)와 같다. 접지부의 높이가 상승할수록 기본 골격인 모노폴과 부분 접지면의 간격이 좁아져 낮은 공진 주파수의 전류 경로가 짧아져 대역폭이 줄어들음을 관찰할 수 있다.

이와 같이 기하 파라미터들의 변화들에 따른 반사 손실에서의 중심 주파수, 대역폭, 대역 평탄성의 변화들을 반복적으로 확인하면 최종적으로 다음과 같은 물리적 치수들을 얻을 수 있다.

표 2의 치수들을 반영한 안테나 구조의 반사 손실 주파수 특성은 다음과 같다.

최적화된 3차원 구조의 모의시험을 통한 반사 손실은 요구되는 대역을 보이고 있다. 또한, 대역 평탄도를 결정하는 두 공진점들이 균형 있게 생성되었는지를 확인하기 위해 상응하는 분수 함수를 참고문헌 [9]의 방식으로 얻어 S_{11} 간의 유사함을 확인하였다.

$$S_{11}(S) = \frac{S^2 + 1.694S}{S^2 + 1.694S + 1.935} \quad (2)$$

이 분수 함수는 정규화된 복소 주파수를 변수($S=j(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)/\Delta$, $j=\sqrt{-1}$, $\Delta=\text{Bandwidth}/\omega_0$, $\omega=2\pi f$, $\omega_0=2\pi f_0$)로 사용하며, 극점들은 위 변환관계를 이용하면 약 3.4 GHz와 4.75 GHz이 된다. 그러면, 이

표 2. 최적화 된 구조의 치수

Table 2. Physical dimensions of the optimized structure.

변수	값 (mm)	변수	값 (mm)
w_s	20	l_s	27.5
gnd_l_1	5.48	w_0	1.76
w_1	8.24	l_2	5.9
w_2	4.14	l_3	6.94
w_3	2.82	l_4	6.94
w_4	3.34

(a) 사각형 모노폴에 개방 스텐브와 링형 스텐브의 부착
(a) Two ring stubs and one open stub attached to the rectangular monopole

(b) 변수 w_3 변화에 따른 S_{11} 특성
(b) S_{11} vs. varied w_3

(c) 변수 w_4 변화에 따른 S_{11} 특성
(c) S_{11} vs. varied w_4

(d) 변수 gnd_l1 변화에 따른 S_{11} 특성
(d) S_{11} vs. varied gnd_l1

그림 6. 제안한 사각형 모노폴에 개방 스텐브와 링형 스텐브가 부착된 UWB 안테나 구조와 w_3 , w_4 와 gnd_l1 의 변화에 따른 반사 손실 특성

Fig. 6. Two ring stubs and one open stub attached to the rectangular monopole and S_{11} vs. varied w_3 , w_4 and gnd_l1 .

그림 7. 최적화된 구조의 반사 손실과 유사한 특징의 분수 함수의 결과와의 비교

Fig. 7. Return loss of the optimized structure, compared to the curve fitting rational function.

(a) 3.4 GHz

(b) 4.75 GHz

그림 8. 극점에서의 공진형 전류 분포

Fig. 8. Resonant current distributions at the poles of the rational function for S_{11} .

극점들에서 공진이 일어나는지를 알아보기 위해 다음과 같이 안테나 구조의 표면 전류를 얻는다.

각각의 극점에서의 전류 분포를 확인하면 그림 8과 같다. 첫 번째 극점인 3.4 GHz에서의 전류 분포는 모노폴 패치 전체와 링형 구조에 전반적으로 분포하고 있으며, 이때 링의 길이에 영향을 받아 첫 번째 극점의 길이를 조정할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 두 번째 극점인 4.75 GHz에서의 전류는 입력단에서부터 개방 스테르브쪽으로 집중된다. 이는 개방 스테르브 주위에서 전류밀도가 최고가 되며, 3.4 GHz 공진과는 독립적인 공진을 만들어 극점이 형성되었음을 나타낸다.

지금까지 모의시험과 더불어 설계된 안테나를 직접 제작하고 측정하여 제안한 구현 방법의 타당함을 보이고자 한다.

III. 안테나 제작 및 측정 결과

제작된 안테나는 그림 9(a)에서 사진으로 제시되고 있으며, 측정을 위해 급전 선로에 SMA 커넥터를 부착하였다. 제작된 안테나의 크기는 $20 \times 27.5 \times 1 \text{ mm}^3$ 이며, Agilent사의 Vector Network Analyzer E8363B를 이용하여 측정하였다.

그림 9(b)와 같이 제작한 안테나를 측정한 결과, 목표 대역인 3.197~4.732 GHz 대역 내에서 -10 dB 이하의 반사 손실을 보였고, 모의 실험에서의 결과와 비슷한 주파수에서 극점이 두 개 생겼고, 대역폭도 유사하다. 하지만 약간의 주파수 편이와 저주파 공진에서 손실이 발생하였으며, 기관의 유전율과 손실에 대한 주파수 분산 특성 등으로부터 기인한 것으로 유추할 수 있다.

방사 특성을 확인하기 위해 제안된 안테나의 대역 내의 빔 패턴을 3.4 GHz, 3.96 GHz, 4.488 GHz에서 측정하였다. 각 주파수 대역의 방사 패턴은 그림 10(a)와 같이 대체적으로 전 방향성의 특성을 나타낸다. 또한, 그림 10(b)와 (c)는 대역 내에서의 측정된 이득과 효율을 보여준다. 또한, 초광대역 통신에서 빠질 수 없는 위상왜곡의 정도를 가늠하는 척도인 군지연 값을 얻어 그림 10(d)에 나타내었다.

그림 10과 같이 대역 내에서 제안된 안테나는 5 dBi 이상의 이득을 갖고 80 % 이상의 효율 특성을 갖는 것을 확인하였다. 또한, 3D EM 계산을 통해 동

(a) 제작된 안테나의 사진

(a) Picture of the manufactured antenna

(b) 모의실험 및 측정된 반사 손실

(b) Simulated and measured S_{11}

그림 9. 제작된 안테나와 반사 손실 측정 결과

Fig. 9. The photograph of the fabricated antenna and measured S_{11} .

작대역 상에서 1 ns 이내로 군지연이 형성됨을 확인하였다. 따라서 빔 패턴에 의한 방향성과 이득과 효율과 위상 특성을 감안하면 WWAN용 소형 무선 통신 트랜시버의 안테나로 적합하다고 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 고속 무선 통신을 위한 UWB 하반 대역에서 사용 가능한 광대역 평판형 소형 안테나를 제안하였다. 기존의 평면형 모노폴 안테나에 광대역 특성을 부여하기 위하여 부분 접지면 위로 기본 방사체를 두고 극점의 개수를 늘려 반사 손실의 대역 내 평탄도를 향상하기 위해 개방 스테르브와 두 개의 링형 스테르브를 결합함으로써 안테나의 정합과 첫 번째 극점의 주파수를 낮추었다. 안테나의 대역은 3.197

(a) 3.4 GHz, 3.96 GHz, 4.488 GHz에서의 빔 패턴(고도각과 방위각)
(a) Elevation and azimuth beam patterns at 3.4 GHz, 3.96 GHz, and 4.488 GHz

(b) 이득
(b) Gain

(c) 효율
(c) Efficiency

(d) 군지연
(d) Group-delay

그림 10. 측정된 빔 패턴, 이득, 효율과 계산된 군지연

Fig. 10. Measured beam patterns, gain and efficiency and calculated group-delay.

~4.912 GHz으로 설계 목표인 WVAN 1번~3번 채널에 부합한다. 안테나를 측정한 결과, 대역 내에서 -10 dB 이하의 반사 손실과 5 dBi 이상의 이득을 갖고, 80 % 이상의 효율 특성을 얻었다. 따라서 본 논문에서 제안된 안테나는 고속으로 동영상 전송

하는 WVAN용 무선 통신 트랜시버 개발에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Seung-Sik Lee, Sangjae Lee, Sangsung Choi, Sung-

- tek Kahng, "A WiX RF transceiver for Gbps wireless communication", *2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics(ICCE 2011)*, pp. 427-428, Jan. 2011.
- [2] H. G. Schantz, "Introduction to ultra-wideband antennas", Next-RF, Inc. 4811 Cove Creek Drive Brownsboro, Alabama.
- [3] N. Telzhensky, Y. Leviatan, "Novel method of UWB antenna optimization for specified input signal forms by means of genetic algorithm", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54 no. 8, pp. 2216-2225, 2006.
- [4] 이정남, 이성훈, 박종권, "사다리꼴 모양의 UWB 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 16(3), pp. 235-245, 2005년 3월.
- [5] T. G. Ma, S. K. Jeng, "A printed dipole antenna with tapered slot feed for ultrawide-band applications", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 11, pp. 3833-3836, Nov. 2005.

- [6] 고영목, 나극환, "Design of UWB tapered slot antenna for the optimum impulse radio transmitting & receiving", *한국전자과학회논문지*, 21(6), pp. 553-563, 2010년 6월.
- [7] K. Rambabu, H. A. Thiart, and J. Bornemann, "Ultrawide-band printed-circuit antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 12, pp. 3908-3911, Dec. 2006.
- [8] Q. -X. Chu, L. -H. Ye "Design of dual-wideband antenna with assembled monopoles", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 12, pp. 4063-4066, Dec. 2010.
- [9] S. Kahng, "Rotation-free transformation of the coupling matrix with genetic algorithm-error minimizing pertaining transfer functions", *Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 4, no. 3, pp. 97-142, Sep. 2004.

업 다 정

2011년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사)
2011년~현재: 인천대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 부품 설계 및 안테나

강 승 택

2000년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
2000년 4월: 한양대학교 산업과학연구소 연구원
2004년 2월: 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원
2004년~현재: 인천대학교 정보통신공학과 교수

2007~현재: 송도 국방벤처 자문교수

[주 관심분야] 전자파 수치 해석 및 응용, EMI/EMC 대책, 초고주파 부품 및 안테나 설계, 메타물질구조 이론 및 응용

임 동 진

2010년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사)
2010년~현재: 인천대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 부품 설계 및 안테나

이 승 식

1996년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2008년 9월: 충북대학교 정보통신공학과(공학박사)
1998년 3월~2000년 7월: LG전자 연구원

2000년 8월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] RF Transceiver architecture, RFIC

최 상 성

1977년 2월: 한양대학교 무선통신
공학과 (공학사)

1979년 2월: 고려대학교 전자공학
과 (공학석사)

1991년 6월: Ohio University (이학석
사)

2000년 5월: University of Wyoming
(공학박사)

2000년 11월~현재: 한국전자통신연구원 스마트 WPAN
연구팀 팀장

[주 관심분야] UWB 통신 시스템, 신호 처리, 스펙트럼 공
학, 전파 간섭 분석